



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ**

CARRERA DE BIOLOGÍA MARINA

TRABAJO DE TITULACIÓN:

**ESTUDIO MORFOMÉTRICO DE ATUNES DE ALETA AMARILLA (*THUNNUS
ALBACARES*) CAPTURADOS DE LAS ZONAS DE PESCA FAO77 Y FAO87
Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES**

PREVIO AL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

AUTOR DE LA INVESTIGACIÓN:

TERRY JOSEPH CAISAGUANO AGUILAR

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

KRUGER LOOR SANTANA, M. Sc.

MANTA – MANABÍ - ECUADOR

JULIO, 2025

Certificado del tutor

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo con la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

Kruger Loor Santana, M. Sc.

TUTOR

Aprobación del tribunal

El jurado examinador aprueba el presente informe de investigación en nombre de la
Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí:

DURAN COBO GABRIEL MODESTO *M. Sc.*

Primer lector

MORALES COROZO JUAN PABLO *M. Sc.*

Segundo lector

LOOR SANTANA KRUGER IVAN *M. Sc.*

Tercer lector

Declaración del autor

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

Terry Josep Caisaguano Aguilar

CC. 2000132312

Cel. 0969619453

tcaisaguano2312@pucesm.edu.ec

Autor

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, hicieron posible la realización de esta tesis.

En primer lugar, a mis padres, **José Berrones** y **Ena Aguilar**, por su amor incondicional, su apoyo constante y su fe en mí. Gracias por estar presentes en cada paso, en cada caída y en cada logro. Sin su guía y fortaleza, este camino habría sido mucho más difícil. A mi hermana, **Angie Caisaguano**, por su compañía, palabras de aliento y por saber estar siempre cuando más lo necesitaba.

A mi abuela, **Melva Pérez**, por sus oraciones, su cariño incansable y por ser siempre un pilar en mi vida. Y, aunque parezca pequeño, no puedo dejar de agradecer a **Ceniza**, mi gato, quien con su silenciosa compañía me brindó calma en los momentos de mayor estrés.

A nivel académico, agradezco especialmente al Biólogo **Loor Santana Kruger Iván**, por su valiosa orientación, paciencia y apoyo durante el proceso de recolección de muestras. Su disposición y compromiso fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Gracias a todos los que de algún modo hicieron parte de este proceso.

Tabla de contenidos

Introducción.....	12
Materiales y métodos	16
Área de estudio	16
Metodología.....	17
Mediciones morfométricas	17
Variables ambientales	20
Temperatura superficial del mar	21
Concentración de Clorofila-a.....	21
Turbidez.....	21
Salinidad superficial del mar	22
Integración de datos y análisis.....	22
Análisis Exploratorio de Datos (AED).....	22
Prueba de Normalidad.....	23
Comparación de Medias.....	23
Análisis de Correlación	23
Análisis de Componentes Principales (ACP)	23
Análisis de Clúster	23
MANOVA (Análisis Multivariado de Varianza).....	24
Software Utilizado	24
Resultados.....	24

Variables morfométricas	24
Prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov	26
Índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)	27
Correlación	29
Variables Ambientales	32
Variación espacial	32
Variación interanual	34
Variación mensual.....	36
Análisis comparativo.....	40
Prueba t de Student	40
Análisis de Componentes Principales (ACP)	41
Análisis clúster.....	43
MANOVA	45
Discusión	46
Conclusiones.....	53
Bibliografía	54

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Codificación y descripción de caracteres morfométricos medidos</i>	18
Tabla 2. <i>Resultados de Prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov</i>	26
Tabla 3. <i>Resultados del Índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)</i>	28
Tabla 4. <i>Resultados de la prueba t de Student</i>	40
Tabla 5. <i>Resultados del Análisis de componentes principales</i>	41
Tabla 6. <i>Contribución de las variables morfológicas a los dos primeros componentes principales</i>	42
Tabla 7. <i>Resultados de la prueba de Análisis Multivariante de la Varianza</i>	45

Índice de figuras

Figura 1. <i>Zonas de pesca FAO del Atún de aleta amarilla Thunnus albacares</i>	16
Figura 2. <i>Caracteres morfométricos medidos en los especímenes de T. albacares</i>	19
Figura 3. <i>Medición de caracteres morfométricos en los especímenes de T. albacares</i>	20
Figura 4. <i>Boxplots comparativos de variables morfológicas entre zonas de pesca (realizado mediante RStudio)</i>	25
Figura 5. <i>Scatterplot matrix de variables morfológicas FAO77 (realizado mediante RStudio)</i>	29
Figura 6.. <i>Scatterplot matrix de variables morfológicas FAO87 (realizado mediante RStudio)</i>	31
Figura 7. <i>Variación espacial de factores ambientales</i>	33
Figura 8. <i>Variación multianual de factores ambientales, 2002-2025</i>	35
Figura 9. <i>Variación mensual de factores ambientales</i>	37
Figura 10. <i>Biplot del Análisis de Componentes Principales</i>	43
Figura 11. <i>Dendograma de cluster jerárquico de las observaciones de T. albacares de FAO77 y FAO87 (realizado mediante RStudio)</i>	44

Resumen

Los estudios morfométricos en especies marinas son clave para comprender cómo los cambios ambientales afectan la dinámica poblacional y la sostenibilidad pesquera. Esta investigación analizó la relación entre variables morfométricas del atún de aleta amarilla (*Thunnus albacares*) desembarcado en la bahía de Manta, Ecuador y factores ambientales. Se examinaron 100 ejemplares (50 por zona) en una planta procesadora del puerto de Manta, de los cuales se midieron ocho variables morfométricas y se analizaron cuatro factores ambientales característicos de cada área de captura. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre zonas: los atunes de FAO77 presentaron mayor talla (LT promedio: 89,22 cm vs. 83,78 cm en FAO87), aletas dorsales más altas (HPD: 31,06 cm vs. 28,64 cm) y longitud de la cabeza más desarrollada (LC: 26,1 cm vs. 23,18 cm). Ambientalmente, FAO77 tuvo aguas más cálidas (25,38 °C) y estables, mientras que FAO87 mostró mayor productividad (clorofila-a: 0,22 mg/m³) y variabilidad. El ACP reveló que el 65,33% de la variación morfológica (CP1) se asoció al tamaño corporal, y el 11,44% (CP2) a la estructura de aletas. El MANOVA confirmó que todos los factores ambientales influyeron significativamente ($p < 2,2e-16$). Se concluye que la heterogeneidad ambiental promueve diferenciación fenotípica en *T. albacares*. Futuros estudios deberían integrar genética para discernir entre plasticidad fenotípica y adaptación local.

Palabras clave: adaptación funcional, plasticidad morfológica, zonas FAO, variación ambiental, análisis multivariado

Abstract

Morphometric studies in marine species are key to understanding how environmental changes affect population dynamics and fisheries sustainability. This research analyzed the relationship between morphometric variables of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) caught in FAO fishing zones 77 and 87, and the associated environmental conditions. A total of 100 specimens (50 per zone) were examined at a processing plant in the port of Manta. Eight morphometric variables were measured, and four environmental factors characteristic of each capture area were analyzed. The results showed significant differences ($p < 0.05$) between zones: tuna from FAO77 exhibited greater body length (average TL: 89.22 cm vs. 83.78 cm in FAO87), taller dorsal fins (DFH: 31.06 cm vs. 28.64 cm), and more developed head length (HL: 26.1 cm vs. 23.18 cm). Environmentally, FAO77 had warmer (25.38°C) and more stable waters, while FAO87 showed higher productivity (chlorophyll-a: 0.22 mg/m³) and greater variability. Principal Component Analysis (PCA) revealed that 65.33% of morphological variation (PC1) was associated with body size, and 11.44% (PC2) with fin structure. Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) confirmed that all environmental factors had a significant influence ($p < 2.2e-16$). It is concluded that environmental heterogeneity promotes phenotypic differentiation in *T. albacares*. Future studies should integrate genetic analysis to distinguish between phenotypic plasticity and local adaptation.

Keywords: functional adaptation, morphological plasticity, FAO zones, environmental variation, multivariate analysis

Introducción

El estudio de factores morfométricos en especies marinas de importancia alimenticia ha ganado relevancia en los últimos años (Famoofo & Abdul, 2020), debido a la necesidad de comprender cómo los cambios en el entorno marino afectan la dinámica poblacional y la sostenibilidad de los recursos pesqueros (Aoki et al., 2018). Las variaciones morfométricas son esenciales para identificar poblaciones y pueden servir como indicadores del estado de salud de las especies (Wuenschel et al., 2019), además de permitir el diseño de estrategias de manejo que promuevan una explotación equilibrada sin comprometer su viabilidad a largo plazo (Samad et al., 2023; Third & Parsons, 2024). A través de la medición de características anatómicas, se pueden determinar patrones de variación intra e interpoblacional (Deida et al., 2024), lo que resulta crucial para entender la influencia de los factores ambientales en los organismos y en sus poblaciones.

En este contexto, los estudios morfométricos han representado herramientas clave para investigar y entender la dinámica poblacional y los impactos de cambios en el entorno marino (Artetxe-Arrate et al., 2021). Los caracteres morfométricos son cruciales para identificar diferentes poblaciones de peces, sugiriendo estructuras de stock basadas en variaciones de tamaño y forma (Stransky et al., 2020). En este sentido, estudios pueden revelar cómo los factores ambientales, como la temperatura del agua, la salinidad o concentración de clorofila-a, afectan la morfología de las especies, lo que ayuda a predecir cómo estas especies podrían adaptarse a cambios en su entorno (Frau et al., 2019; Leeuwen et al., 2021; Venâncio et al., 2022).

Estudios en este campo, como la investigación sobre *Euthynnus affinis* en las aguas de Borneo, donde se identificaron tres grupos poblacionales con diferencias morfológicas significativas (Binashikhubkr et al., 2024) subrayando la importancia de la morfometría en

la identificación de subpoblaciones dentro de una especie, lo que facilita su manejo adecuado en función de las características específicas de cada grupo. De igual manera, en Ecuador, se han realizado investigaciones que han demostrado cómo los cambios en el hábitat pueden influir en la variación morfológica de especies como *Brycon dentex*, sugiriendo que el estudio de la morfometría puede ser útil para monitorear el estado de conservación de las especies a través de medidas anatómicas que reflejan el estado de su entorno (Gonzalez-Martinez et al., 2021).

En cuanto *Thunnus albacares*, esta especie ha sido objeto de varios estudios debido a su importancia económica y ecológica. Se ha establecido que el atún de aleta amarilla posee una alta diversidad genética (Aris et al., 2017), pero su variación morfológica también se ve influida por los factores ambientales, lo que marca la necesidad de un monitoreo constante de sus características anatómicas para garantizar una gestión sostenible (Reglero et al., 2017).

Estudios con variables estandarizadas y protocolos se remontan a las definiciones de dimensiones corporales utilizadas para describir atunes (Marr & Schaefer, 1949), a partir de lo cual se han medido 8 variables morfométricas (Schaefer, 1989), encontrando diferencias significativas entre poblaciones del Pacífico. Más recientemente, Hidayat et al., (2023) midieron un conjunto de 20 variables morfométricas, que conllevaron al hallazgo de dos subpoblaciones de atún aleta amarilla, una en el Mar de Java y otra en el Mar de Natuna.

El atún de aleta amarilla ha sido una especie clave en las actividades pesqueras del Pacífico oriental, y en la bahía de Manta desde la década de 1950 (Pico, 2022). Su importancia radica en su relevancia económica y alimentaria, además de su papel ecológico dentro de los ecosistemas marinos (Ruíz-Pérez et al., 2016). Esta especie, de comportamiento epipelágico y altamente migratoria, recorre grandes distancias anualmente en búsqueda de alimento y condiciones óptimas para su reproducción, que ocurre cerca de la superficie durante todo el año (Castrejón & Moreno, 2018). Dado su rápido crecimiento en comparación con otras

especies de atún, *T. albacares* presenta ventajas para los estudios morfométricos destinados a identificar variaciones físicas y su relación con factores ambientales (Jopia, 2010).

Sin embargo, a pesar de la importancia de este atún y su relevancia para la industria pesquera ecuatoriana, existen pocos estudios que analicen de manera específica la variación morfológica de esta especie en relación con los factores ambientales presentes en la región. El cambio climático y la contaminación del agua, han provocado alteraciones en los hábitats marinos de Ecuador, lo que podría estar afectando las características morfológicas de *T. albacares*. En este sentido, se carece de información precisa sobre cómo estos factores interactúan y modifican la morfología de la especie, lo que limita la capacidad de implementar estrategias efectivas de conservación y manejo sostenible del atún desembarcado en la bahía de Manta.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es analizar la relación entre los factores ambientales y la variación morfológica del atún de aleta amarilla desembarcado en la bahía de Manta. La hipótesis central de esta investigación plantea que factores como la temperatura del agua, la concentración de clorofila-a, la turbidez y la salinidad superficial del mar influyen en la variación morfológica de esta especie. Se espera que, mediante el análisis de variables morfométricas y ambientales, se puedan identificar patrones de adaptación en la morfología del atún de aleta amarilla, lo que contribuirá a mejorar el conocimiento sobre cómo los cambios en el entorno marino afectan esta especie en particular. Además, los resultados de este estudio proporcionarán información valiosa para la implementación de estrategias de manejo que aseguren la sostenibilidad de la población de atún de aleta amarilla en la bahía de Manta.

La metodología empleada en esta investigación incluye la medición de diversas variables morfométricas del atún de aleta amarilla, tales como la longitud total, las distancias entre los puntos anatómicos de la cabeza y las aletas, y otros rasgos distintivos de la anatomía

de la especie. Asimismo, se utilizaron datos satelitales para evaluar las condiciones ambientales espacial y temporalmente relacionadas con las zonas de captura, como la temperatura superficial del mar, la concentración de clorofila-a, la turbidez y la salinidad, con el fin de identificar posibles correlaciones entre estos factores y las variaciones morfológicas observadas en los atunes. Se prevé que este enfoque permita comprender mejor cómo los factores ambientales influyen en la morfología de la especie, aportando datos cruciales para el manejo sostenible de *T. albacares*.

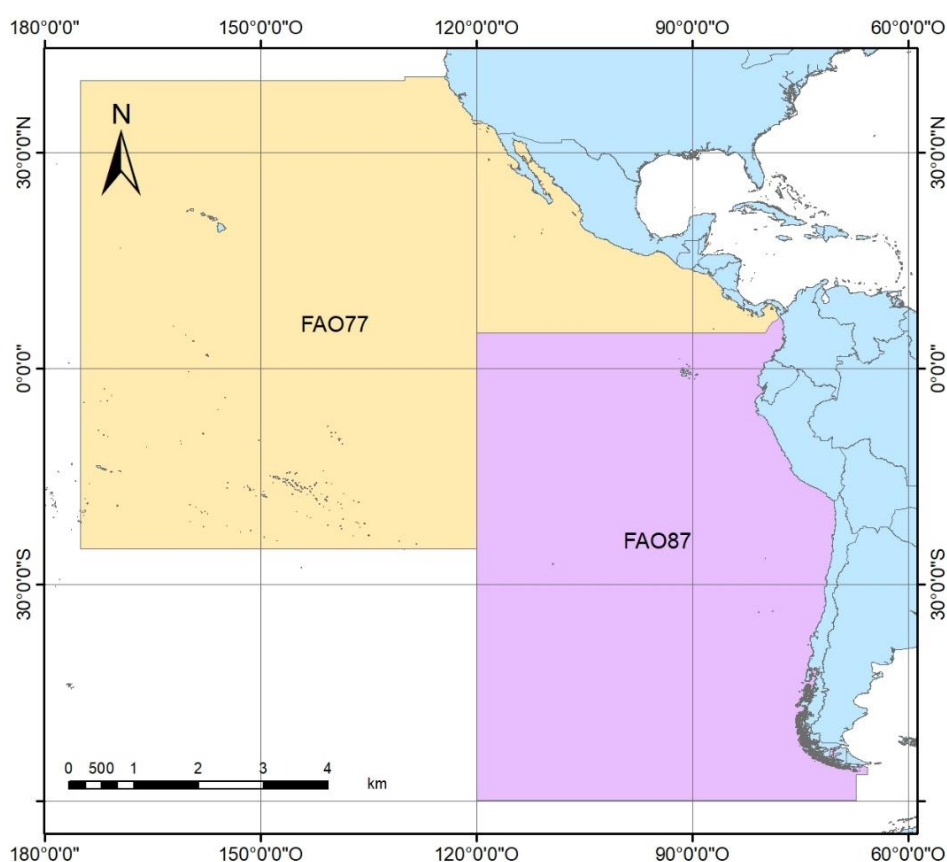
Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se basó en el análisis morfométrico de *T. albacares* a partir de ejemplares obtenidos de una pesquería en la bahía de Manta, los cuales fueron capturados en las zonas de pesca FAO 77 - Pacífico centro-oriental y Zona FAO 87 - Pacífico sudoriental (Petrossian et al., 2022). Las zonas de captura correspondieron a zonas de pesca de atún aleta amarilla, cuya distribución incluyó sectores oceánicos de aguas nacionales e internacionales del Pacífico oriental, donde operan regularmente las flotas que abastecen los puertos de desembarque en la bahía de Manta, Ecuador (Pacheco, 2020).

Figura 1.

Zonas de pesca FAO del Atún de aleta amarilla Thunnus albacares (editado mediante ArcGis®).



Metodología

El presente estudio es de tipo cuantitativo, explicativo y correlacional, dado que busca analizar la relación entre factores ambientales y la variación morfológica del atún de aleta amarilla (*Thunnus albacares*). La investigación incluye trabajo de laboratorio y análisis estadístico para establecer relaciones significativas entre las variables estudiadas. Los especímenes de atunes aleta amarilla, utilizados en el presente estudio fueron capturados en las zonas de pesca FAO77 y FAO87 en marzo de 2025.

Mediciones morfométricas

Se trabajó con muestras de 50 ejemplares de atún de aleta amarilla, provenientes de las zonas FAO77 y 50 ejemplares capturados en la zona FAO87, desembarcados en la bahía de Manta, Ecuador, siguiendo la metodología de Marr & Schaefer, (1949); Schaefer, (1989). El número de especímenes medidos sigue las recomendaciones de varios estudios similares y adecuado para la cantidad de variables a analizar (Fabiani et al., 2022; Hasan et al., 2021; Joseph et al., 2019; Marenkov et al., 2016). Los especímenes fueron seleccionados de forma aleatoria para obtener representatividad. Los individuos fueron manipulados siguiendo las guías para el uso de peces en investigación (Lerner & Lane, 2004; Mejuto-García, 2021), manteniendo la integridad de los especímenes y la calidad de los datos obtenidos.

Las mediciones se tomaron siguiendo las definiciones de dimensiones corporales utilizadas para describir atunes (Marr y Schaefer, 1949). De esta manera, se midieron 8 variables morfométricas, que se detallan a continuación:

Tabla 1.

Codificación y descripción de caracteres morfométricos medidos.

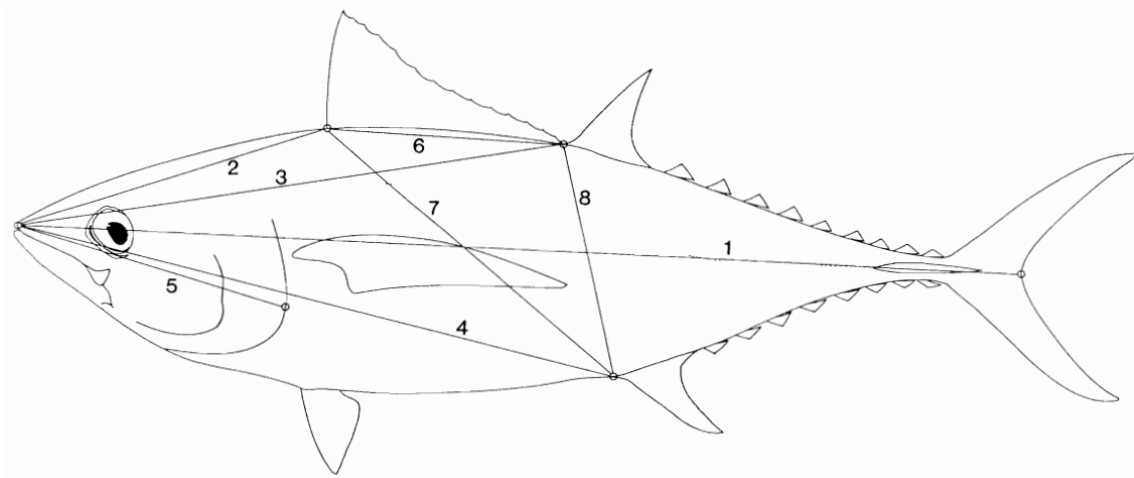
No.	Símbolo	Descripción
1	LT	Longitud total
2	HPD	Distancia del hocico a la inserción de la primera aleta dorsal
3	HSD	Distancia del hocico a la inserción de la segunda aleta dorsal
4	HAA	Distancia del hocico a la inserción de la aleta anal
5	LC	Longitud de la cabeza
6	PDS	Distancia de la inserción de la primera aleta dorsal a la inserción de la segunda aleta dorsal
7	PDAA	Distancia de la inserción de la primera aleta dorsal a la inserción de la aleta anal
8	SDAA	Distancia de la inserción de la segunda aleta dorsal a la inserción de la aleta anal

Nota: Obtenido de Marr & Schaefer, (1949); Schaefer, (1989)

Las mediciones de las variables morfométricas en los atunes de aleta amarilla se realizaron utilizando un ictiómetro calibrado y diseñado específicamente para el presente estudio y una cinta métrica. En cada espécimen se realizaron las morfométricas lineales (figura 2), de acuerdo con las descripciones de Marr & Schaefer, (1949); Schaefer, (1989). Estas medidas se ilustran a continuación:

Figura 2.

Caracteres morfométricos medidos en los especímenes de T. albacares.



Nota: Obtenido de Marr & Schaefer, (1949); Schaefer, (1989)

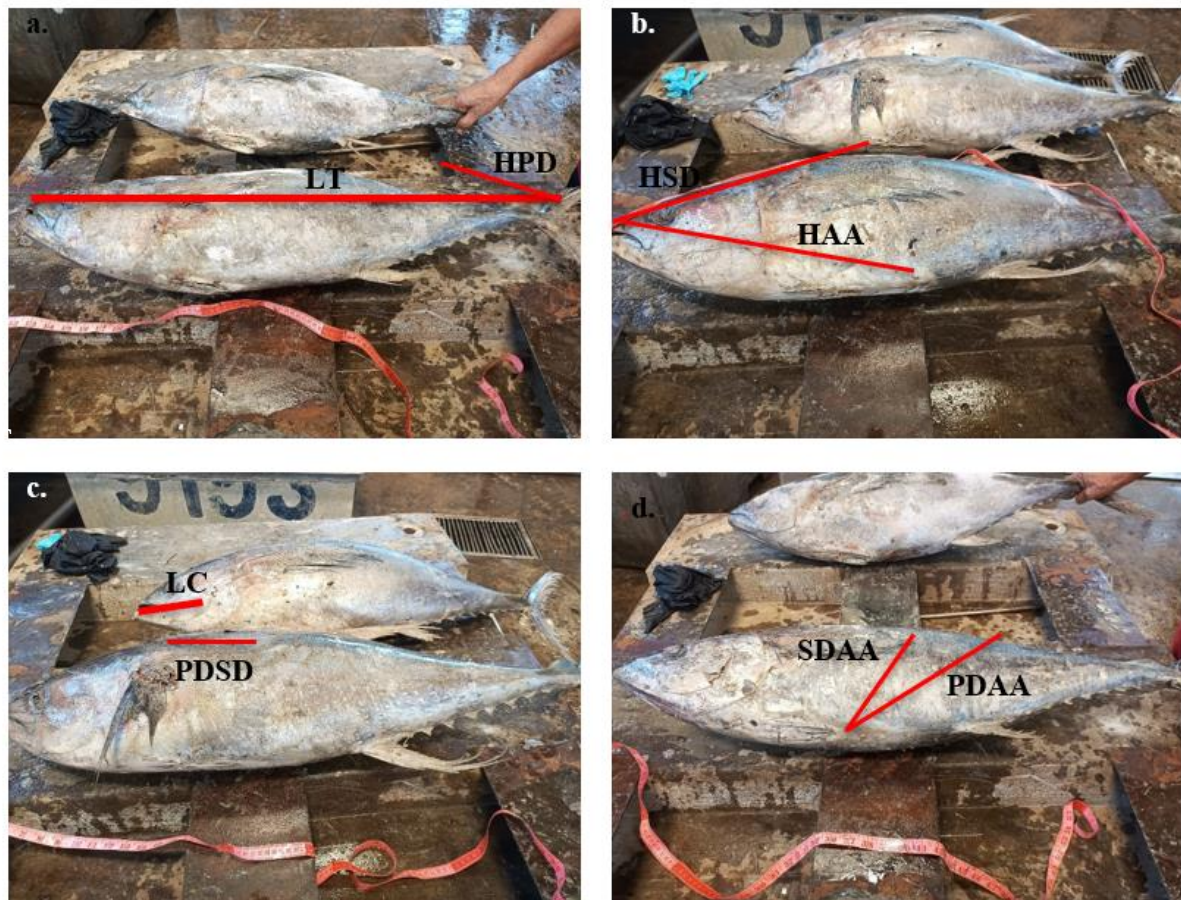
El procedimiento empleado para la toma de datos morfométricos se detalla a continuación:

Los especímenes, previamente congelados, fueron colocados en una superficie plana y rígida, para mantener el cuerpo recto y simétrico, lo que garantizó la precisión en las mediciones. El ictiómetro utilizado fue una regla especializada, calibrada previamente, este instrumento fue fabricado en materiales resistentes al agua y de fácil manejo, lo que permitió obtener mediciones precisas.

Previo al registro de las variables morfométricas, el atún fue colocado en una posición lateral, de manera que todas las mediciones pudieron ser visualizadas de forma clara (Figura 3). Las mediciones se realizaron en un entorno controlado de luz, utilizando un sistema de iluminación adecuado, evitando reflejos y distorsiones.

Figura 3.

Medición de caracteres morfométricos en los especímenes de T. albacares



Nota: Fuente propia

a) LT: Longitud total y LC: Longitud de la cabeza. **b)** HPD: Distancia del hocico a la inserción de la primera aleta dorsal y HSD: Distancia del hocico a la inserción de la segunda aleta dorsal. **c)** HAA: Distancia del hocico a la inserción de la aleta anal y PDSD: Distancia entre la primera y la segunda aleta dorsal. **d)** PDAA: Distancia de la primera aleta dorsal a la aleta anal y SDAA: Distancia de la segunda aleta dorsal a la aleta anal.

Cada medición fue registrada en una base de datos, con una entrada por cada individuo medido. La base de datos incluye campos para las variables morfométricas y otros atributos relevantes, como la fecha de captura y la ubicación.

Variables ambientales

Los datos fueron obtenidos de plataformas satelitales (Daqamseh et al., 2019; Katlane et al., 2023), procesados mediante un software especializado y analizados para evaluar su relación con las características biológicas de la especie. Se utilizó un promedio multianual,

basado en datos del período 2002-2025, con el objetivo de representar las condiciones ambientales típicas del mes de marzo, para cada una de las zonas de captura analizadas en el presente estudio y minimizar el impacto de variaciones interanuales extremas.

Temperatura superficial del mar

La Temperatura Superficial del Mar (TSM) fue evaluada utilizando datos del sensor MODIS-Aqua (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Esta fuente proporciona imágenes con una resolución espacial de 1 km. Los datos, correspondientes al período 2002-2021, fueron obtenidos a través de Google Earth Engine (GEE) y procesados para calcular promedios mensuales en la zona de estudio. Para el período 2022–2025, se utilizaron datos derivados del sensor SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer) del programa Copernicus.

Concentración de Clorofila-a

La clorofila-a, un indicador de la productividad primaria y la concentración de fitoplancton, fue obtenida a partir de datos del sensor MODIS-Aqua (L3SMI) para el período 2002-2021 mientras que para el periodo 2022-2025 se utilizaron datos del sensor OLCI (Ocean and Land Colour Instrument) a bordo del satélite Sentinel-3. Los datos fueron extraídos con Google Earth Engine (GEE) y analizados en la zona de estudio.

Turbidez

La turbidez fue estimada a partir de datos del sensor MODIS-Aqua (L3SMI), utilizando la reflectancia de la banda de 667 nm (R_{rs_667}). Se aplicó una ecuación empírica para convertir la reflectancia en turbidez (Katlane et al., 2013).

La ecuación utilizada para estimar la turbidez a partir de la reflectancia en la banda de 667 nm es:

$$TD = 62,86(p/0,1736 - p))$$

donde:

- TD es la turbidez en unidades de NTU (Nephelometric Turbidity Units).
- p es la reflectancia de la radiación que sale del agua se define por Rrs_{667} nm obtenida de MODIS-Aqua.

Para el período 2022–2025, se emplearon datos del sensor OLCI (Ocean and Land Colour Instrument) a bordo del satélite Sentinel-3. Los datos, fueron procesados en Google Earth Engine (GEE).

Salinidad superficial del mar

La salinidad superficial fue evaluada utilizando datos del modelo HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model). Esta fuente proporciona información sobre salinidad a diferentes profundidades con resolución espacial variable. Los datos, correspondientes al período 2002–2025 fueron obtenidos a través de Google Earth Engine (GEE) y procesados para calcular promedios mensuales en la zona de estudio.

Integración de datos y análisis

Análisis Exploratorio de Datos (AED)

Se realizó un análisis descriptivo inicial de las variables morfométricas (LT, HPD, HSD, HAA, LC, PDSD, PDAA, SDAA) y ambientales (temperatura superficial del mar, turbidez, clorofila-a, salinidad) mediante medidas de tendencia central (media, mediana) y dispersión (desviación estándar, rango intercuartílico). Se emplearon gráficos de caja (*boxplots*) para visualizar la distribución de las variables por zona de captura (FAO77 vs. FAO87).

Prueba de Normalidad

Para evaluar el supuesto de normalidad de los datos morfométricos, se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Esta prueba permitió determinar la adecuación de los datos para análisis paramétricos posteriores.

Comparación de Medias

Se utilizó la prueba t de Student para muestras independientes con el fin de comparar las medias de cada variable morfométrica entre las zonas FAO77 y FAO87.

Análisis de Correlación

Se calculó la matriz de correlación de Pearson para examinar las relaciones lineales entre las variables morfométricas. Los coeficientes de correlación (r) se interpretaron bajo los criterios de Fiallos, (2021):

$|r| \geq 0,7$: Correlación fuerte.

$0,5 \leq |r| < 0,7$: Correlación moderada.

$|r| < 0,5$: Correlación débil.

Análisis de Componentes Principales (ACP)

Se realizó un ACP para reducir la dimensionalidad de los datos morfométricos y explorar patrones de variabilidad. Previo al análisis, se estandarizaron las variables (escala Z) para evitar sesgos por diferencias en unidades de medida. Se evaluó la adecuación de los datos mediante el Índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO).

Se retuvieron los componentes principales con autovalores > 1 (criterio de Kaiser) y se interpretaron mediante rotación *Varimax* para maximizar la varianza explicada.

Análisis de Clúster

Se aplicó la técnica de agrupamiento K-means, para identificar grupos naturales basados en distancias euclidianas. El número óptimo de clústeres se determinó mediante el método del codo (*elbow method*) y el índice de silueta.

MANOVA (Análisis Multivariado de Varianza)

Se empleó un MANOVA univariado para evaluar el efecto de las variables ambientales (temperatura, turbidez, clorofila-a, salinidad) sobre el conjunto de variables morfométricas. Se utilizó el estadístico Pillai-Bartlett por su robustez ante desviaciones de normalidad multivariante.

Software Utilizado

Para la búsqueda y descarga de datos satelitales se utilizó Google Earth Engine, plataforma de análisis y procesamiento de datos geoespaciales en la nube. Para la visualización y georreferenciación local se empleó el software ArcGIS versión 10.4. Los análisis estadísticos se realizaron en el lenguaje R versión 4.4.1 (R Core Team, 2024), mediante la interfaz RStudio versión 4.2.0 (2025).

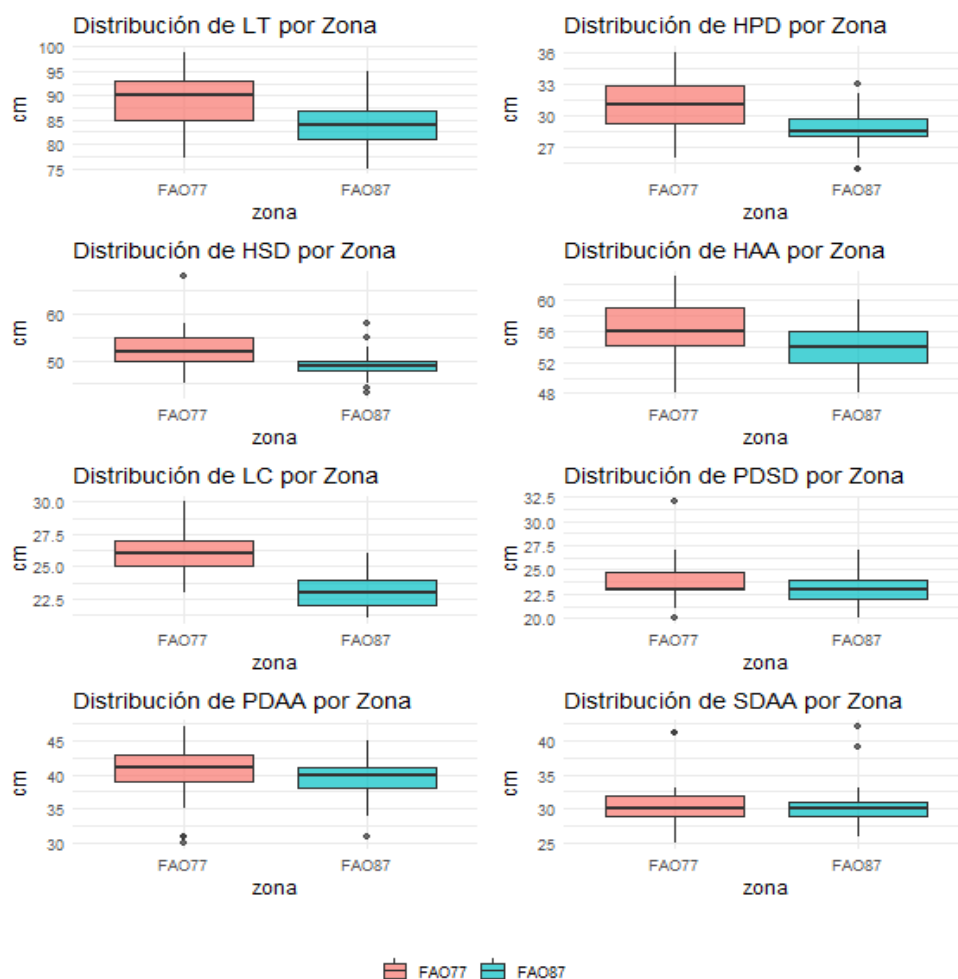
Resultados

Variables morfométricas

Los resultados obtenidos en el análisis morfométrico del atún de aleta amarilla (*T. albacares*) desembarcado en la bahía de Manta evidencian diferencias en los parámetros biológicos entre las zonas FAO77 (n=50 individuos) y FAO87 (n=50 individuos). Para ilustrar estas diferencias, en la figura 4, se presentan los boxplots comparativos.

Figura 4.

Boxplots comparativos de variables morfológicas entre zonas de pesca (realizado mediante RStudio).



Se evidencia que, la talla total (LT) de los individuos en FAO77 presenta un valor medio de 89,22 cm, mientras que en FAO87 es de 83,78 cm, es decir, los atunes capturados en FAO77 alcanzan tamaños mayores.

La altura de la primera aleta dorsal (HPD) muestra una tendencia similar, con una media de 31,06 cm en FAO77 y 28,64 cm en FAO87, esto indica una mayor robustez estructural en los individuos de FAO77. Este patrón también se observa en la altura de la segunda aleta dorsal (HSD), con valores promedio de 52,7 cm y 49,08 cm en FAO77 y FAO87, respectivamente.

En cuanto a la longitud de la cabeza (LC), los atunes de FAO77 presentan un valor medio de 26,1 cm, mientras que en FAO87 la media es de 23,18 cm, lo que indica una mayor proporción cefálica en los ejemplares de la primera zona. Asimismo, la distancia desde la inserción de la primera aleta dorsal hasta la segunda (PDSD) y desde la primera aleta dorsal hasta la aleta anal (PDAA) muestra una ligera ventaja en FAO77, con valores medios de 23,66 cm y 40,57 cm, respectivamente, frente a 23,08 cm y 39,4 cm en FAO87.

La separación entre la segunda aleta dorsal y la aleta anal (SDAA) no muestra grandes diferencias entre las zonas de captura, con valores medios de 30,32 cm en FAO77 y 30,06 cm en FAO87, sin embargo, la tendencia general sugiere que los individuos capturados en FAO77 presentan una mayor talla y desarrollo estructural en comparación con los de FAO87.

Prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov

El análisis de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov para las variables morfológicas del atún de aleta amarilla (*T. albacares*) desembarcado en la bahía de Manta se realizó en un conjunto total de 100 observaciones. La hipótesis nula de esta prueba establece que los datos siguen una distribución normal, mientras que la hipótesis alternativa indica que no lo hacen. Se considera que un p-valor mayor a 0,05 no permite rechazar la hipótesis nula, es decir, la variable analizada sigue una distribución normal.

A continuación, se presentan los resultados:

Tabla 2.

Resultados de Prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov.

Variable	p-valor	Normalidad
Longitud total (LT)	0,9848	Sí
Distancia Hocico – inserción de primera aleta dorsal (HPD)	0,9998	Sí
Distancia Hocico – inserción de segunda aleta dorsal (HSD)	0,9959	Sí

Distancia Hocico – inserción de segunda aleta anal (HAA)	0,9996	Sí
Longitud de la cabeza (LC)	0,9999	Sí
Distancia de inserción de la primera aleta dorsal a la inserción de la segunda aleta dorsal (PDSD)	0,9922	Sí
Distancia de inserción de la primera aleta dorsal a la inserción de la aleta anal (PDAA)	0,9998	Sí
Distancia de inserción de la segunda aleta dorsal a la inserción de la aleta anal (SDAA)	0,7916	Sí

Los resultados obtenidos para el conjunto total de datos muestran que las variables LT, HPD, HSD, HAA, LC, PDSD, PDAA y SDAA presentan p-valores superiores a 0,05, lo que indica que no se rechaza la hipótesis nula de normalidad para todas las variables analizadas. Por lo tanto, se puede asumir que todas las variables siguen una distribución normal en el conjunto total de datos, por lo cual es viable aplicar pruebas paramétricas.

Dado que varias de las variables morfológicas cumplen con el supuesto de normalidad, se ha procedido con los análisis comparativos, sin necesidad de pruebas adicionales ni normalización de datos.

Índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)

El índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) es una medida utilizada para evaluar la adecuación de la muestra en el análisis factorial, proporcionando una indicación de si los datos son adecuados para pruebas multivariantes como análisis de componentes principales (ACP). El valor de KMO oscila entre 0 y 1. Los valores cercanos a 1 indican que los datos son muy adecuados para el análisis factorial, mientras que valores cercanos a 0 sugieren que los datos no son apropiados. En general, un valor de KMO superior a 0,7 es considerado adecuado para realizar el análisis factorial.

En este análisis, se calcularon los valores del KMO para cada una de las variables morfológicas del atún de aleta amarilla (*T. albacares*) desembarcado en la bahía de Manta, con el fin de evaluar si las variables seleccionadas son adecuadas para un análisis factorial.

Tabla 3.

Resultados del Índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO).

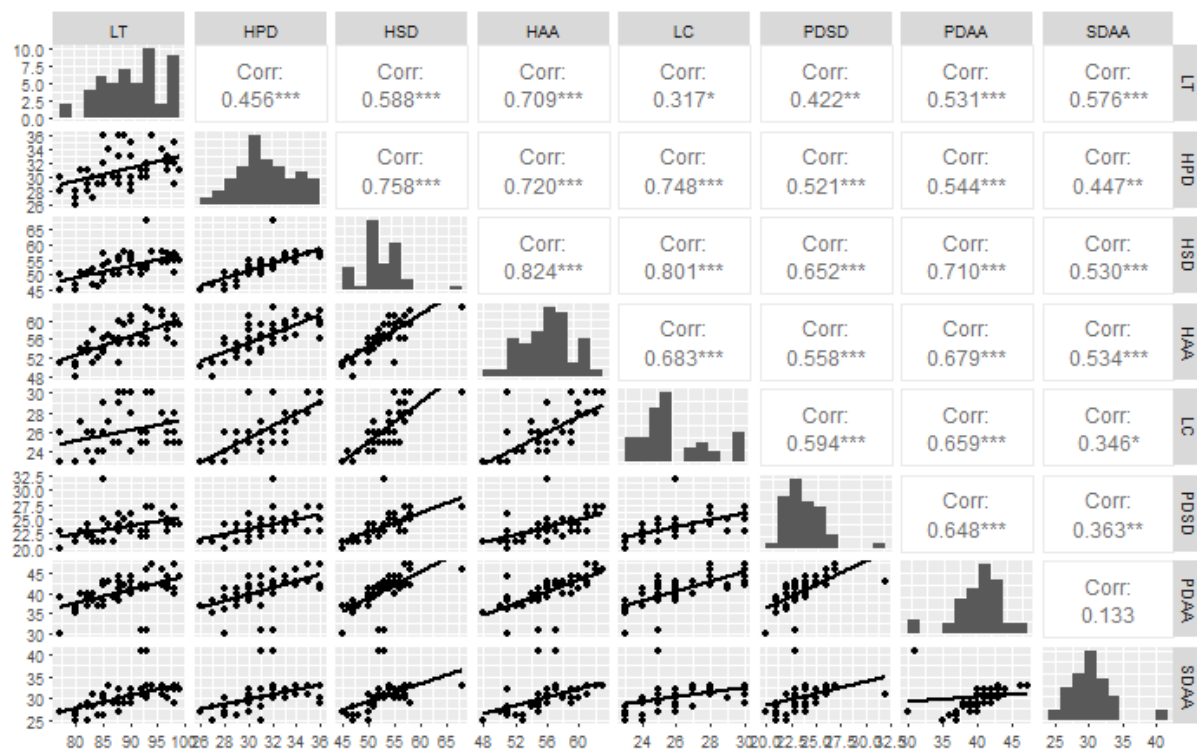
Variable	MSA
Longitud total (LT)	0,92
Distancia Hocico – inserción de primera aleta dorsal (HPD)	0,92
Distancia Hocico – inserción de segunda aleta dorsal (HSD)	0,89
Distancia Hocico – inserción de segunda aleta anal (HAA)	0,88
Longitud de la cabeza (LC)	0,88
Distancia de inserción de la primera aleta dorsal a la inserción de la segunda aleta dorsal (PDSD)	0,86
Distancia de inserción de la primera aleta dorsal a la inserción de la aleta anal (PDAA)	0,79
Distancia de inserción de la segunda aleta dorsal a la inserción de la aleta anal (SDAA)	0,68

Los resultados obtenidos a partir del índice KMO muestran una adecuación general excelente para el análisis factorial, con un valor global de 0,86. Este valor muestra que los datos recopilados son suficientemente adecuados para realizar un análisis factorial sin problemas. En cuanto a las variables individuales, la mayoría muestra valores de MSA superiores a 0,8, lo que indica que son altamente adecuadas para el análisis, especialmente las variables LT y HPD que alcanzan valores de 0,92. Otras variables, como HSD (0,89), HAA y LC (ambas con 0,88), también se consideran apropiadas para este tipo de análisis. Las variables PDAA (0,79) y SDAA (0,68) presentan una adecuación menor en comparación con las demás, siendo esta última aceptable dada su aproximación a 0,7, por lo que puede considerarse admisible.

Correlación

Figura 5.

Scatterplot matrix de variables morfológicas FAO77 (realizado mediante RStudio).



En la figura 5 se presentan los resultados de la prueba de correlación de Pearson para variables morfológicas en FAO77.

El análisis de correlación de Pearson aplicado a las variables morfológicas de atunes capturados en las zonas FAO77 y FAO87 muestra relaciones claras de crecimiento proporcional y coordinación estructural en los diferentes componentes anatómicos del pez.

En FAO77, la mayoría de las variables muestran correlaciones positivas y estadísticamente significativas ($p < 0,05$), evidenciando un crecimiento armónico en la morfología corporal. La talla total (LT) exhibe correlaciones moderadas a fuertes con variables clave como la altura de la primera aleta dorsal (HPD, $r = 0,46$), la altura de la segunda aleta dorsal (HSD, $r = 0,59$) y la altura de la aleta anal (HAA, $r = 0,71$), lo que indica

que individuos de mayor tamaño presentan un desarrollo proporcionalmente mayor de estas estructuras natatorias.

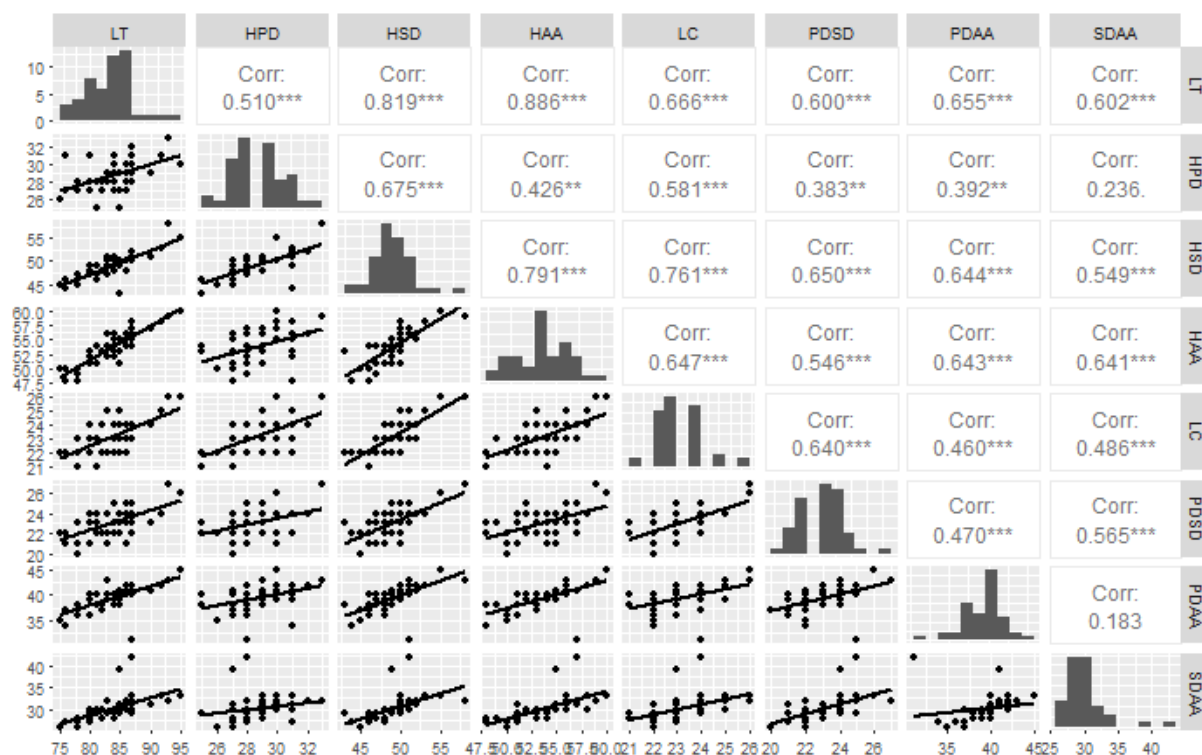
La correlación entre la longitud de la cabeza (LC) y la longitud total (LT), aunque positiva, presentó baja intensidad ($r=0,32$), lo que muestra un crecimiento proporcional de la región cefálica durante el desarrollo del individuo. Entre las estructuras de las aletas, la altura de la segunda aleta dorsal (HSD) y la altura de la aleta anal (HAA) muestran una fuerte correlación ($r = 0,82$), lo que sugiere un desarrollo coordinado que puede estar vinculado con la estabilidad hidrodinámica.

Variables como la distancia entre la primera y la segunda aleta dorsal (PDSD) presentan correlaciones moderadas con LT ($r = 0,42$) y HSD ($r = 0,65$), indicando que, aunque crece en función del tamaño corporal, presenta mayor variabilidad individual. La distancia entre la segunda aleta dorsal y la aleta anal (SDAA) mantiene correlaciones más bajas y menos consistentes, reflejando posiblemente un atributo morfológico con independencia relativa respecto al tamaño general.

Por otra parte, en la figura 6 se presentan los resultados de la prueba de correlación de Pearson para variables morfológicas en FAO77.

Figura 6.

Scatterplot matrix de variables morfológicas FAO87 (realizado mediante RStudio).



En FAO87, los coeficientes de correlación son en general más elevados en comparación con FAO77, reflejando una relación aún más estrecha entre las variables morfológicas. Por ejemplo, LT presenta correlaciones fuertes con HAA ($r = 0,89$), HSD ($r = 0,82$) y LC ($r = 0,67$), lo que indica un crecimiento aún más proporcional de estas dimensiones con el aumento en talla total. La correlación entre LT y HPD también es moderada y significativa ($r = 0,51$).

Sin embargo, a diferencia de FAO77, algunas variables muestran correlaciones más bajas, como HPD con SDAA ($r = 0,24$, $p > 0,05$), lo que puede indicar diferencias en el desarrollo de ciertas estructuras o mayor variabilidad morfológica en esta zona.

En ambas zonas, los valores p asociados a la mayoría de las correlaciones significativas son muy bajos ($p < 0,01$), indicando alta confianza estadística en estas asociaciones. Las diferencias en magnitud y fuerza de correlación entre FAO77 y FAO87

podrían deberse a variaciones ambientales, o condiciones genéticas, sugiriendo que, aunque la relación general de crecimiento proporcional se mantiene, la expresión fenotípica puede presentar variabilidad espacial.

Variables Ambientales

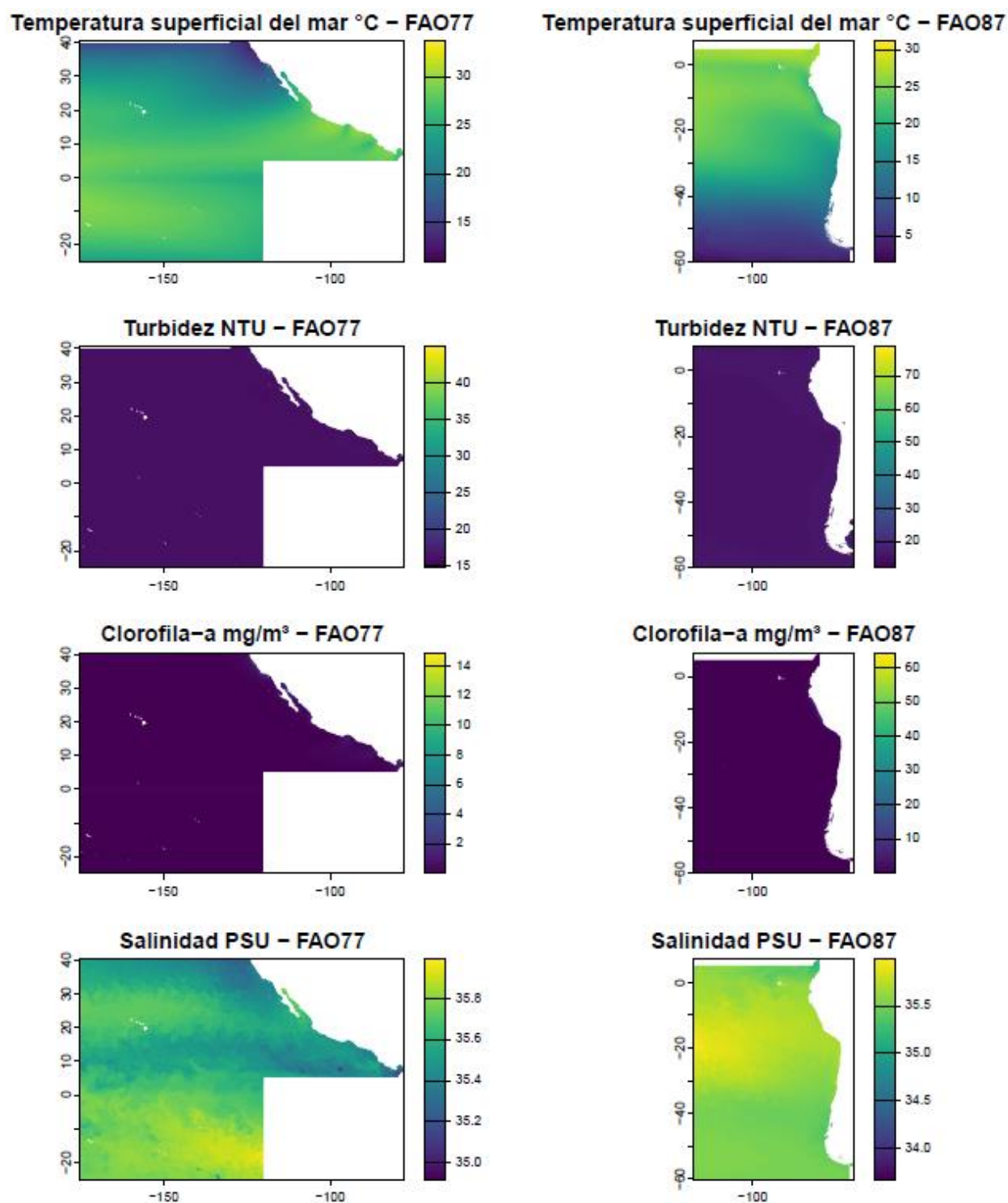
Variación espacial

La comparación de variables ambientales de las dos zonas pesqueras muestra las diferencias en la temperatura superficial del mar, la turbidez, la concentración de clorofila-a y la salinidad, resultados que se presentan en la figura 7. La comparación para periodos más recientes también muestra valores espaciales similares en ambas zonas.

En la zona FAO77, la temperatura promedio fue de 25,38 °C, con un mínimo de 9,05 °C y un máximo de 34,73 °C. La desviación estándar fue de 3,25 °C, lo que indica una variabilidad térmica moderada. En la zona FAO87, la temperatura promedio fue de 17,65 °C, con un rango de 0,19 a 31,56 °C y una desviación estándar de 7,33 °C, lo que indica la existencia de una mayor variabilidad (figura 7). La menor temperatura media en FAO87 puede estar relacionada con la influencia de la Corriente de Humboldt, mientras que FAO77 muestra condiciones más cálidas y estables.

Figura 7.

Variación espacial de factores ambientales (realizado mediante RStudio).



La turbidez promedio en FAO77 fue de 16,09 NTU, con valores entre 9,66 y 51,78 NTU y una desviación estándar de 0,24 NTU, lo que indica baja variabilidad. En FAO87, la

turbidez promedio fue similar (16,18 NTU), pero con una mayor dispersión de datos, alcanzando un máximo de 82,32 NTU y una desviación estándar de 0,67 NTU. Es decir que FAO87 experimenta eventos de mayor resuspensión de sedimentos, posiblemente asociados a influencia fluvial o afloramientos costeros.

La clorofila-a en FAO77 presentó una concentración promedio de 0,13 mg/m³, con un mínimo de 0,02 mg/m³ y un máximo de 62,96 mg/m³. La desviación estándar fue de 0,24 mg/m³, lo que indica baja variabilidad. En FAO87, la concentración promedio fue más alta (0,22 mg/m³), con un rango de 0,02 a 64,51 mg/m³ y una desviación estándar de 0,59 mg/m³. Esto induce una mayor productividad primaria en FAO87, probablemente favorecida por procesos de afloramiento.

La salinidad promedio en FAO77 fue de 35,64 PSU, con un rango de 34,92 a 35,99 PSU y una desviación estándar de 0,14 PSU, indicando condiciones estables. En FAO87, la salinidad promedio fue similar (35,62 PSU), pero con un rango más amplio (33,67 a 36,00 PSU) y una desviación estándar de 0,13 PSU. La mayor variabilidad en FAO87 puede deberse a la influencia de aguas dulces provenientes de descargas fluviales o a procesos de mezcla oceánica.

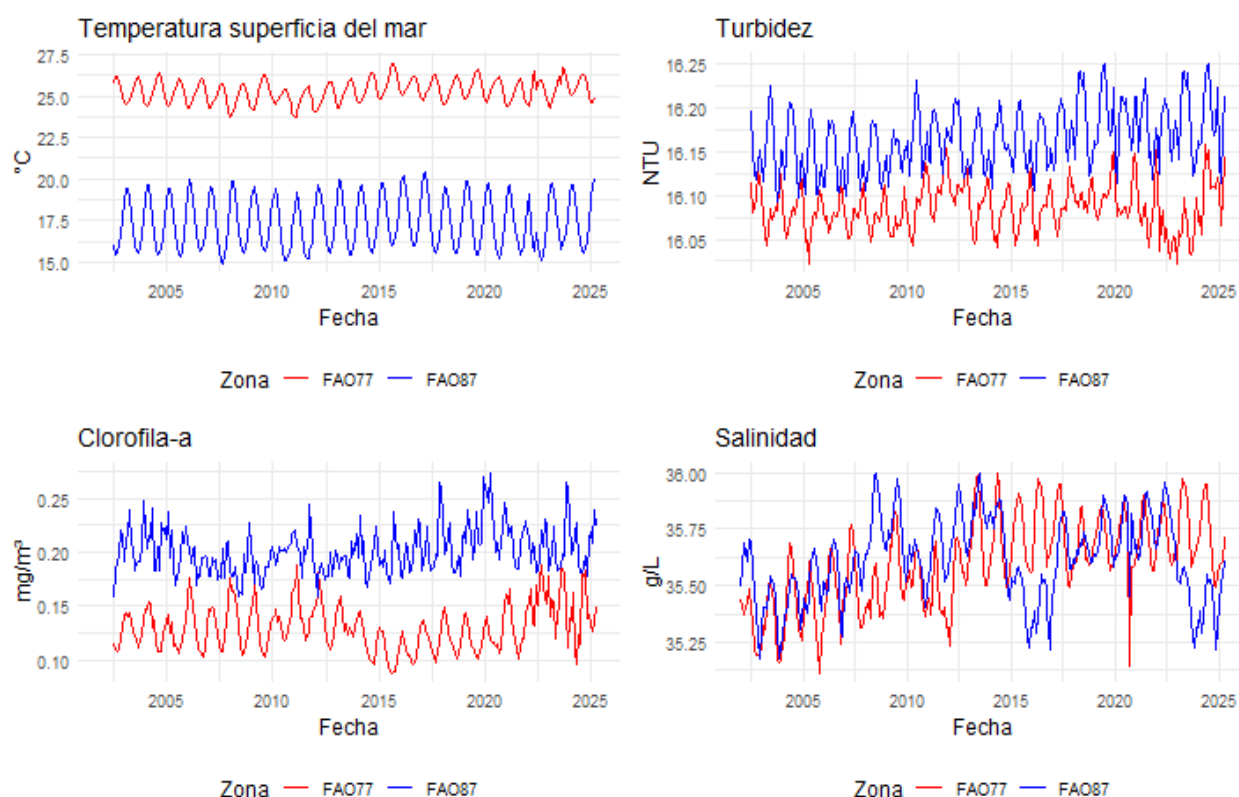
Los resultados indican que FAO87 presenta una mayor variabilidad ambiental que FAO77, con temperaturas más frías, mayor turbidez máxima y una productividad primaria más alta. Estas diferencias pueden estar influenciadas por la dinámica de las corrientes oceánicas y los procesos de afloramiento en el Pacífico Sur.

Variación interanual

El análisis de las series temporales de las variables ambientales en las zonas FAO77 y FAO87 revela diferencias significativas que pueden influir en la distribución y disponibilidad del atún de aleta amarilla (*T. albacares*).

Figura 8.

Variación multianual de factores ambientales, 2002-2025 (realizado mediante RStudio).



La temperatura superficial del mar muestra valores consistentemente más altos en la zona FAO77 en comparación con FAO87. En FAO77, las temperaturas oscilan entre 24,0 °C y 27,0 °C, mientras que en FAO87 varían entre 16,0 °C y 21,0 °C. Además, en esta última se observa una mayor variabilidad estacional, con ciclos anuales bien definidos y mayor amplitud térmica entre meses. En cambio, FAO77 mantiene un patrón más estable y homogéneo a lo largo del tiempo.

La turbidez del agua presenta una dinámica diferenciada entre ambas zonas, con valores más elevados y mayor variabilidad interanual en FAO87. En esta zona, los valores promedio se sitúan entre 16,15 y 16,25 NTU, con picos que alcanzan valores superiores a 16,3 NTU en ciertos años. En FAO77, los valores son más bajos, entre 16,05 y 16,15 NTU, y

las fluctuaciones a lo largo del tiempo son más atenuadas. Se observan oscilaciones anuales en ambas zonas, aunque de menor amplitud en FAO77.

En cuanto a la clorofila-a, se observa que FAO87 presenta valores más altos a lo largo del tiempo en comparación con FAO77. En la zona FAO87, las concentraciones fluctúan entre 0,18 y 0,28 mg/m³, con aumentos sostenidos a partir de 2010. FAO77 presenta valores entre 0,10 y 0,17 mg/m³, manteniéndose por debajo de FAO87 durante todo el periodo 2002–2025. Ambas zonas muestran variaciones interanuales, aunque la magnitud de los cambios es mayor en FAO87.

Por otro lado, la salinidad superficial muestra una tendencia general al incremento en ambas zonas, aunque FAO87 presenta una mayor variabilidad interanual. En FAO77, los valores oscilan entre 35,5 y 35,9 g/L, con un patrón ascendente moderado. En FAO87, la salinidad varía entre 35,2 y 35,9 g/L, presentando picos abruptos y descensos irregulares a lo largo del tiempo. Los ciclos estacionales son visibles en ambas zonas, pero más marcados en FAO87.

Los resultados obtenidos muestran que FAO87 es una zona ambientalmente más dinámica, con mayores fluctuaciones en sus condiciones oceanográficas y una mayor productividad primaria. Por otra parte, FAO77 presenta condiciones más estables, con temperaturas más altas y menor variabilidad en la disponibilidad de nutrientes. Estas diferencias pueden influir en la distribución y abundancia del atún de aleta amarilla en cada zona, lo que representa un aspecto clave para la gestión pesquera y el desarrollo de estrategias sostenibles en función de la variabilidad ambiental.

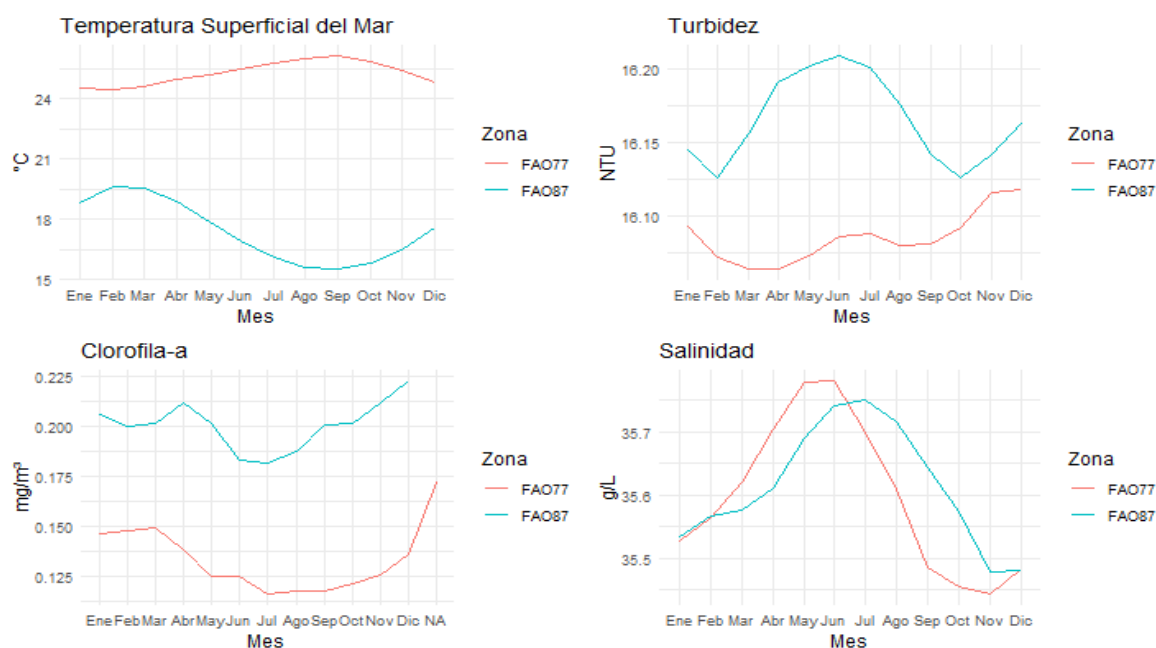
Variación mensual

El análisis de la variabilidad ambiental en las zonas FAO77 y FAO87 se ha basado en el estudio de las series temporales de temperatura superficial del mar, turbidez, concentración

de clorofila-a y salinidad. Para ello, se han calculado los promedios mensuales de estas variables a lo largo del periodo de estudio, lo que ha permitido identificar patrones estacionales y tendencias a largo plazo en cada zona. Sin embargo, dado que las mediciones morfométricas se realizaron en el mes de marzo, el presente análisis se enfoca específicamente en las condiciones ambientales promedio de ese mes. Esto permite establecer una relación más directa entre los factores oceanográficos y la variabilidad morfológica de la especie en las áreas de captura.

Figura 9.

Variación mensual de factores ambientales (realizado mediante RStudio).



Zona FAO77

La temperatura superficial del mar presenta una variabilidad mensual significativa a lo largo del año. Los valores mínimos, máximos y promedio para el período observado muestran que la temperatura en la zona de pesca FAO77 oscila entre 24,48 °C y 26,10°C, con una media de 25,25°C. A partir del análisis mensual, se observa una ligera tendencia al aumento de la temperatura desde los meses de enero hasta marzo, con un promedio de 24,48 °C en enero, 24,60°C en febrero y 24,89°C en marzo. La temperatura promedio en marzo es

comparable con el comportamiento histórico registrado para los años 2002-2021, destacándose como intermedia en la temporada.

La concentración de clorofila-a muestra una estabilidad mensual durante el año, con una mínima variabilidad en comparación con otros parámetros. Los valores para los meses de enero a diciembre fluctuaron entre 0,1388 y 0,1498 mg/m³, manteniéndose la concentración dentro de este rango durante la mayor parte del período. En el mes de marzo, el valor promedio se mantiene en 0,1486 mg/m³, lo cual coincide con las concentraciones observadas históricamente.

La turbidez del agua muestra poca variabilidad, manteniéndose entre 16,06 NTU y 16,12 NTU a lo largo de los meses, con un valor promedio cercano a 16,09 NTU. El mes de marzo presenta un valor muy similar al promedio anual, con 16,06 NTU. Este parámetro ha mostrado una estabilidad mensual en las mediciones, es decir, se presentan condiciones estables en la turbidez del agua durante el período de observación.

La salinidad superficial del mar muestra una leve variabilidad mensual, con valores que oscilan entre 35,42 y 35,76 PSU. La media de salinidad para marzo se mantiene en 35,60 PSU, similar a la media observada a lo largo del año (35,56 PSU). Este comportamiento muestra estabilidad salina en la zona FAO77 durante el periodo analizado. En comparación con los registros históricos, los valores de salinidad en marzo son consistentes con los patrones de variabilidad observados.

Zona FAO87

La temperatura superficial del mar en la zona FAO87 muestra una variabilidad estacional moderada. Durante el período observado, los valores de TSM varían entre 15,49°C y 19,66°C, con un promedio cercano a 17,42°C. En los primeros meses del año, la TSM se mantiene relativamente estable, con un valor promedio de 18,83°C en enero, 19,63°C en

febrero y 19,66°C en marzo, y un ligero descenso a medida que avanzan los meses, alcanzando 15,49°C en septiembre. Los registros de TSM para los meses de enero a diciembre coinciden con el comportamiento histórico observado, mostrando una tendencia general a la estabilidad a lo largo del año.

La turbidez del agua presenta una estabilidad destacable durante todo el período. Los valores fluctúan mínimamente entre 16,12 y 16,21 NTU, con un promedio mensual cercano a 16,16 NTU. En los meses de enero a diciembre, los valores permanecen constantes, sin mostrar cambios significativos. En marzo, el valor medio de la turbidez fue de 16,15 NTU, lo cual coincide con las condiciones estables de turbidez registradas a lo largo del año. Estos valores sugieren que no hay alteraciones notables en la calidad del agua de en las zonas de estudio durante el periodo de estudio.

La concentración de clorofila-a se mantiene también relativamente constante, con una fluctuación mensual pequeña entre 0,1878 mg/m³ y 0,2212 mg/m³. La media de clorofila-a durante el año se mantiene en torno a 0,2005 mg/m³, con valores de clorofila-a en marzo registrando una media de 0,2008 mg/m³. Estos valores son consistentes con los patrones observados históricamente en la región, lo que refleja una estabilidad en la productividad primaria del ecosistema marino durante todo el período.

La salinidad superficial del mar muestra una leve variabilidad mensual. Los valores de salinidad fluctúan entre 35,46 PSU y 35,77 PSU, con un promedio general de 35,61 PSU a lo largo del año. En marzo, la salinidad superficial del mar se mantiene en 35,59 PSU, lo que es consistente con los registros históricos de la zona. Este comportamiento resalta la estabilidad de la salinidad en la zona durante el periodo de estudio, sin mostrar cambios significativos a lo largo del tiempo.

Las condiciones ambientales de las zonas FAO77 y FAO87 presentan patrones de estabilidad, aunque con ciertas diferencias. En FAO77, la temperatura superficial del mar (TSM) es relativamente constante, con un aumento ligero en los primeros meses del año, mientras que en FAO87, la TSM muestra una variabilidad estacional moderada, descendiendo progresivamente hasta alcanzar los valores más bajos en septiembre. Por otro lado, la concentración de clorofila-a y la turbidez del agua muestran estabilidad en ambas zonas, aunque las concentraciones de clorofila-a en FAO87 son ligeramente mayores ($0,2005-0,2212 \text{ mg/m}^3$ vs $0,1388-0,1498 \text{ mg/m}^3$), lo que puede indicar una mayor productividad primaria en esa zona. La salinidad en ambas áreas también es similar, manteniéndose dentro de rangos estrechos durante todo el periodo observado.

Análisis comparativo

Prueba t de Student

De acuerdo con los resultados de la prueba de normalidad, se utilizó la prueba t de Student para comparar las medias de las variables morfométricas entre las zonas de captura.

En la tabla 4 son presentados los valores obtenidos de la prueba t de Student.

Tabla 4.

Resultados de la prueba t de Student.

Variable	p-valor	Interpretación
LT	$1,40 \times 10^{-6}$	Las medias de LT son significativamente diferentes entre las zonas.
HPD	$1,90 \times 10^{-7}$	Las medias de HPD son significativamente diferentes entre las zonas.
HSD	$1,09 \times 10^{-6}$	Las medias de HSD son significativamente diferentes entre las zonas.
HAA	$1,19 \times 10^{-4}$	Las medias de HAA son significativamente diferentes entre las zonas.
LC	$3,65 \times 10^{-13}$	Las medias de LC son significativamente diferentes entre las zonas.
PDSD	0,1038	No hay diferencias significativas en las medias de PSDS entre zonas.
PDAA	0,0688	No hay diferencias significativas en las medias de PDAA entre zonas.
SDAA	0,6617	No hay diferencias significativas en las medias de SDAA entre zonas.

Se observó que las variables longitud total (LT), altura de la primera aleta dorsal (HPD), altura de la segunda aleta dorsal (HSD), altura de la aleta anal (HAA) y longitud de la cabeza (LC) mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las dos zonas de captura. Por otro lado, las variables relacionadas con la disposición de las aletas dorsales y anales (PDSD, PDAA y SDAA) no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$), es decir, estos rasgos podrían estar menos influenciados por las condiciones ambientales o conservarse de forma más estable a nivel poblacional.

Análisis de Componentes Principales (ACP)

En la tabla 5, se presentan los autovalores, la varianza explicada por cada componente y la contribución de las variables morfológicas a los dos primeros componentes principales.

Tabla 5.

Resultados del Análisis de componentes principales.

Componente	Autovalor	Varianza (%)	Varianza
			Acumulada (%)
CP1	5,23	65,33	65,33
CP2	0,92	11,44	76,78
CP3	0,64	8,05	84,82
CP4	0,52	6,52	91,34
CP5	0,23	2,92	94,26
CP6	0,21	2,65	96,91
CP7	0,14	1,73	98,64
CP8	0,11	1,36	100,00

El CP1 explica el 65,33% de la variabilidad total, lo que indica que la mayor parte de la variabilidad morfológica entre los individuos se resume en este componente. El CP2 contribuye con un 11,44% adicional, acumulando un 76,78% de la varianza explicada en los dos primeros componentes. Los siguientes componentes explican un porcentaje menor de la variabilidad, lo que sugiere que la mayoría de la información está contenida en los primeros

dos CP. La tabla 6 presenta los porcentajes de contribución de las variables del estudio a los componentes principales CP1 y CP2.

Tabla 6.

Contribución de las variables morfológicas a los dos primeros componentes principales.

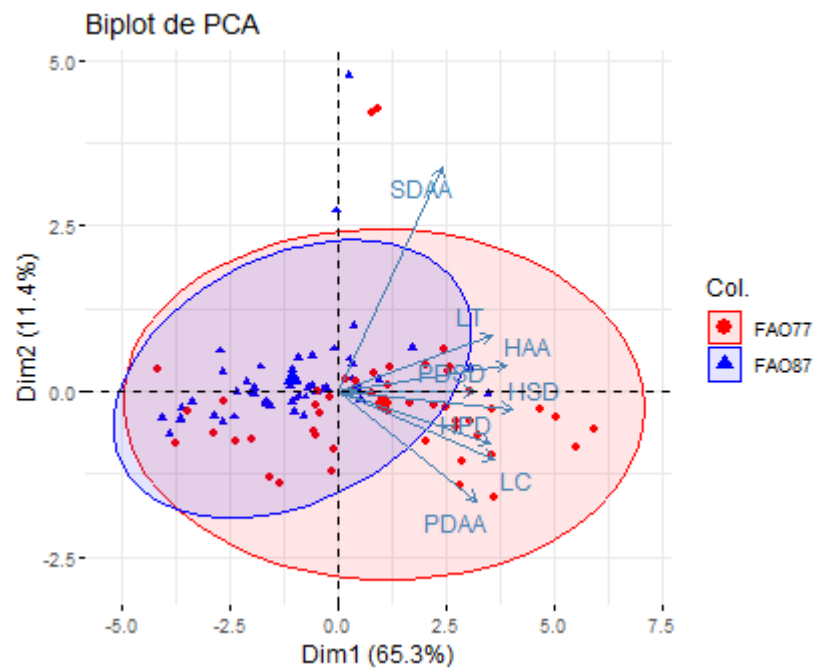
Variable	CP1 (%)	CP2 (%)
Longitud total (LT)	13,17	4,38
Distancia Hocico – inserción de primera aleta dorsal (HPD)	12,89	3,57
Distancia Hocico – inserción de segunda aleta dorsal (HSD)	17,08	0,43
Distancia Hocico – inserción de segunda aleta anal (HAA)	15,92	0,99
Longitud de la cabeza (LC)	13,65	6,22
Distancia de inserción de la primera aleta dorsal a la inserción de la segunda aleta dorsal (PDSD)	10,35	0,00
Distancia de inserción de la primera aleta dorsal a la inserción de la aleta anal (PDAA)	10,82	16,39
Distancia de inserción de la segunda aleta dorsal a la inserción de la aleta anal (SDAA)	6,11	68,02

Se observa que HPD aportó la mayor contribución (17,08%) al CP1, mientras SDAA contribuyó con el más bajo (6,11%) aporte; en cambio, su aporte fue el más alto (68,02) al CP2 Y HPD el más bajo (0,43%); PSDS no tuvo ninguna contribución al CP2.

El análisis de componentes principales muestra que la variabilidad morfológica en *T. albacares* está dominada por las diferencias en el tamaño corporal general (CP1) y en la estructura de las aletas (CP2). La fuerte contribución de variables como la altura del cuerpo y la longitud total al CP1 sugiere que este componente podría reflejar el estado de crecimiento o condición corporal de los individuos. Por otro lado, la contribución de las variables asociadas a las aletas en el CP2 podría indicar diferencias en el comportamiento natatorio o adaptaciones funcionales ligadas a la ecología del atún en diferentes zonas de captura.

Figura 10.

Biplot del Análisis de Componentes Principales (realizado mediante RStudio).



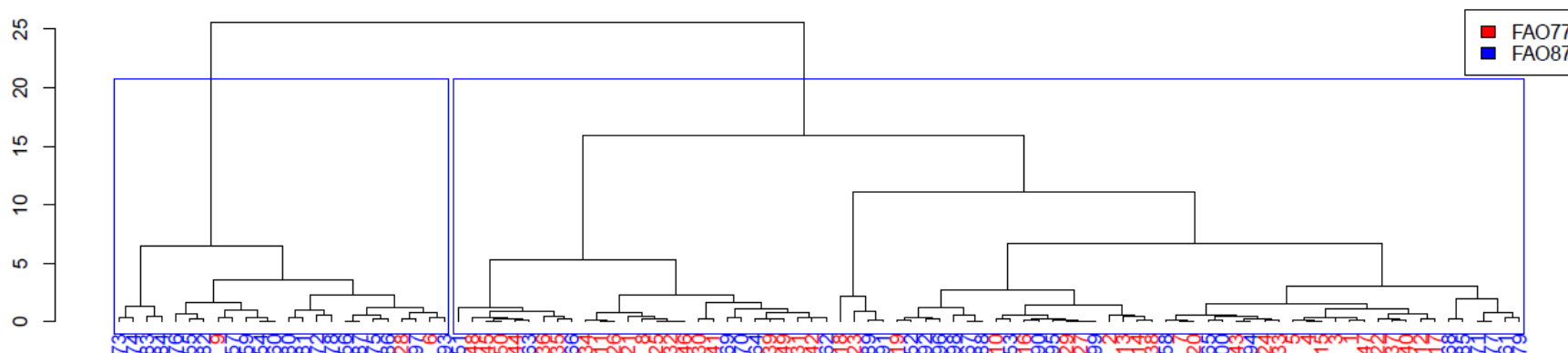
Dado que los datos ambientales varían entre las zonas de pesca, es posible que las diferencias en los componentes principales reflejen la influencia de factores ambientales como la temperatura superficial del mar, la concentración de clorofila-a o la presión pesquera. Para corroborar esta hipótesis, es necesario evaluar la correlación entre los valores de CP1 y CP2 con las condiciones ambientales.

Análisis clúster

El análisis realizado sobre los atunes de aleta amarilla de las dos zonas permitió identificar dos grupos distintos de individuos, basados en sus características morfológicas. Utilizando el análisis de componentes principales (ACP) y el clúster k-means, se observó que los atunes capturados en la zona FAO87 presentaron una mayor variabilidad morfológica en comparación con los de la zona FAO77, que mostraron un grupo más homogéneo en cuanto a sus características.

Figura 11.

Dendrograma de cluster jerárquico de las observaciones de T. albacares de FAO77 y FAO87 (realizado mediante RStudio).



El análisis de clústeres k-means reveló dos grupos morfológicamente distintos entre los atunes de aleta amarilla de las zonas FAO77 y FAO87. El primer clúster, que abarca la mayoría de las observaciones (68 individuos), está predominantemente compuesto por atunes de FAO87 junto con un pequeño grupo de FAO77 y presenta una morfología más pequeña, con un promedio de longitud total de 83,57 cm. En contraste, el segundo clúster, formado por 32 individuos, corresponde casi exclusivamente a atunes de FAO77, que tienen características morfológicas más grandes, con un promedio de 92,72 cm de LT. Las diferencias en las medias de otras variables, como HPD y HSD, junto con la mayor dispersión en el grupo de FAO77, muestran mayor variabilidad morfológica en los atunes de esta zona. Además, la menor cantidad de observaciones en el clúster de FAO77 podría reflejar una menor densidad de captura en esta zona. En conjunto, los resultados sugieren una clara separación entre los atunes de las dos zonas de captura, con características morfológicas más homogéneas en FAO87 y mayor variabilidad en FAO77.

MANOVA

El análisis MANOVA (Análisis Multivariante de la Varianza) se utilizó para evaluar la influencia de cuatro variables ambientales, la temperatura superficial del mar, la turbidez, la concentración de clorofila-a y la salinidad superficial del mar, sobre un conjunto de variables morfológicas de los atunes de aleta amarilla. El propósito fue determinar si estas variables ambientales explican una parte significativa de la variabilidad en las características morfológicas de los atunes.

Tabla 7.

Resultados de la prueba de Análisis Multivariante de la Varianza.

Factor	Df	Pillai	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Temperatura	1	0,65234	21,344	8	91	< 2,2e-16
Superficial del Mar						
Turbidez	1	0,65234	21,344	8	91	< 2,2e-16
Clorofila-a	1	0,65234	21,344	8	91	< 2,2e-16
Salinidad	1	0,65234	21,344	8	91	< 2,2e-16

Los resultados del MANOVA indican que todas las variables ambientales tienen un efecto significativo sobre las variables morfológicas de los atunes de aleta amarilla. Los valores de $Pr(>F)$ para cada factor son todos menores que $2,2e-16$, muestran que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables ambientales y las características morfológicas de los atunes. El valor de Pillai (0,65234) y los elevados valores de F (21,344) para cada uno de los factores muestran una asociación entre las variables ambientales y la variabilidad observada en las variables morfológicas.

Discusión

El análisis morfométrico del atún de aleta amarilla (*T. albacares*), capturado en las zonas de pesca FAO77 y FAO87 y desembarcados en la bahía de Manta, muestra patrones morfológicos diferenciados, es decir, hay diferencias en la estructura de las poblaciones de esta especie. La mayor talla total (LT) observada en los atunes capturados en FAO77 podría estar vinculada a una mayor disponibilidad de alimento y condiciones oceanográficas más favorables. Este hallazgo es consistente con estudios previos que sugieren que la productividad primaria en una zona puede influir significativamente en el crecimiento y desarrollo de especies depredadoras como el atún (Sage, 2020; Yen & Lu, 2016). La mayor abundancia de presas en zonas de alta productividad primaria fomenta un crecimiento más rápido y una mejor condición corporal, lo cual es crucial para la supervivencia y el éxito reproductivo de los peces (MacLeod et al., 2022).

Las diferencias en el desarrollo estructural de las aletas dorsales y la aleta anal entre las zonas de captura también podrían estar relacionadas con adaptaciones hidrodinámicas en respuesta a las condiciones del entorno. Un mayor desarrollo de estas estructuras en los atunes de FAO77 podría reflejar la necesidad de optimizar la natación en hábitats con corrientes más intensas o mayor competencia por recursos alimenticios (Shiroza et al., 2022). De hecho, investigaciones sobre la relación entre la morfología de las aletas y el rendimiento en natación en otras especies de atunes han mostrado que la modificación de estas estructuras es una adaptación a la dinámica del medio marino, donde la eficiencia en la locomoción es esencial para la captura de presas y la evasión de depredadores (Di Santo & Goerig, 2025).

La longitud total (LT) se presenta como una característica relevante que puede estar asociada con el rendimiento natatorio, ya que un mayor tamaño corporal podría relacionarse con

una mayor capacidad de impulso y desplazamiento. Los atunes con tamaño más largo suelen mostrar un mayor impulso durante el nado, lo que les permite alcanzar velocidades mayores y desplazarse más eficientemente. Este fenómeno es consistente con investigaciones previas que han documentado que la longitud, y el pedúnculo caudal que, aunque no se midió en esta investigación, es ventajoso para especies de alto rendimiento natatorio (Matthews et al., 2022).

La no significancia de la diferencia en la separación entre la segunda aleta dorsal y la aleta anal podría indicar que esta variable morfológica es menos sensible a las variaciones ambientales, o que su plasticidad intraespecífica es baja. Sin embargo, es importante resaltar que la plasticidad morfológica en muchas especies de peces es modulada por factores ecológicos y fisiológicos que pueden generar patrones diferenciados según las condiciones del hábitat y la presión de pesca (Hollins et al., 2018).

Los resultados de la prueba de normalidad indican que todas las variables morfológicas cumplen con el supuesto de normalidad, lo que sugiere que la variabilidad observada en la morfología del atún de aleta amarilla responde a patrones distribuidos de manera homogénea dentro de la población analizada. La presencia de correlaciones significativas entre las variables morfológicas sugiere un crecimiento proporcionalmente estructurado, lo que concuerda con el concepto de crecimiento isométrico, en el cual las proporciones relativas de las estructuras corporales se mantienen constantes a medida que el organismo incrementa su tamaño (Gagnat et al., 2016; Pauly, 2024). Los resultados validan que las variables morfológicas del atún de aleta amarilla están interrelacionadas funcionalmente y que probablemente están reguladas por mecanismos de crecimiento ontogenético que aseguran un desarrollo armónico y eficiente para la natación.

El análisis de las condiciones oceanográficas permite comprender las diferencias ambientales que influyen en la distribución del atún de aleta amarilla (*T. albacares*). Mediante el estudio de mapas de variabilidad ambiental, es posible identificar patrones que pueden estar asociados con procesos oceanográficos a gran escala, como el afloramiento costero, la influencia de corrientes marinas y los cambios estacionales en la productividad del ecosistema. La evaluación de los parámetros ambientales en las zonas FAO77 y FAO87 mostró diferencias en las variables como la temperatura superficial del mar (TSM), la turbidez, la clorofila-a y la salinidad son fundamentales para entender los patrones ecológicos y la ecología trófica de esta *T. albacares* desembarcados en la bahía de Manta.

Las condiciones térmicas estables de FAO77, con temperaturas superficiales más cálidas y constantes, son favorecedoras para especies como el atún de aleta amarilla, que se adapta bien a temperaturas elevadas que promueven un metabolismo eficiente (Liu et al., 2022). La estabilidad térmica en FAO77 coincide con lo observado en otras zonas del Pacífico tropical, donde las especies prefieren aguas más cálidas para maximizar su rendimiento metabólico (Ikeda, 2016). Además, la baja influencia de fenómenos climáticos extremos en FAO77 parece ser un factor que favorece la presencia constante de la especie, concordando con otras investigaciones en que las zonas con menor variabilidad térmica pueden ser refugios más estables y confiables para las poblaciones de atún (Nicol et al., 2022).

Por su parte, FAO87 se caracteriza por una mayor variabilidad térmica, probablemente influenciada por la Corriente de Humboldt, que trae aguas frías ricas en nutrientes (Fiedler & Lavín, 2017). Este fenómeno tiene implicaciones directas en la disponibilidad de recursos tróficos, ya que el afloramiento asociado con la Corriente de Humboldt puede incrementar la productividad primaria y atraer presas para el atún, lo que aumenta la posibilidad de que los

atunes se concentren en esta zona en determinados períodos del año (Fang et al., 2023). Este tipo de variabilidad interanual puede ser una de las claves para entender las fluctuaciones de las características del atún, ya que, aunque la mayor variabilidad de las condiciones ambientales en FAO87 podría hacer que esta zona sea más incierta en términos de disponibilidad de recursos, también puede ofrecer picos de productividad primaria que favorecen la presencia de *T. albacares*.

La turbidez en FAO87 es otro factor relevante, pues las fluctuaciones en esta variable podrían indicar la presencia de fenómenos de resuspensión de sedimentos o afloramientos costeros (Ashphaq et al., 2023; Klein, 2022; Shi & Wang, 2010). La mayor turbidez en esta zona impacta la penetración de luz en el agua, afectando la fotosíntesis del fitoplancton, que constituye la base de la cadena trófica. Sin embargo, como se ha demostrado en estudios de ecología marina, la turbidez puede jugar un papel dual, actuando tanto como una barrera para la visibilidad de los depredadores como un indicador de la abundancia de nutrientes disponibles para las especies presas de los atunes (Hill, 2017).

La clorofila-a, que es un indicador clave de la productividad primaria en el océano, también muestra valores más altos en FAO87, lo que confirma la mayor actividad Fito planctónica en esta zona. Este fenómeno está directamente relacionado con el afloramiento de aguas profundas, que trae consigo nutrientes esenciales para la proliferación del fitoplancton (Dabuleviciene et al., 2020). La mayor productividad primaria en FAO87, asociada con una mayor concentración de clorofila-a, podría ser una de las principales razones por las cuales los atunes se concentran en esta área en ciertas épocas del año, favoreciendo la presencia de presas y creando condiciones favorables para el desarrollo y crecimiento del atún.

En cuanto a la salinidad, aunque presenta una variabilidad limitada en ambas zonas, las fluctuaciones observadas en FAO87 podrían estar asociadas con fenómenos climáticos interanuales como El Niño y La Niña, que alteran las características de las masas de agua (Belarmino et al., 2024) y las condiciones fisiológicas para el atún. Las fluctuaciones en la salinidad también pueden afectar indirectamente la distribución de los recursos tróficos, aunque su influencia parece ser menos determinante que la de la temperatura o la turbidez (Reustle & Smee, 2020). Los resultados obtenidos en este estudio muestran variaciones significativas en las características morfométricas de los atunes de aleta amarilla (*T. albacares*) entre las dos zonas de captura, FAO77 y FAO87, lo que indica que las condiciones ambientales de cada zona de pesca influyen en la variabilidad morfológica de esta especie. La diferencia observada en variables clave como la longitud total (LT), la altura de las aletas dorsales y anal (HPD, HSD, HAA), y la longitud de la cabeza (LC) apunta a que las zonas de captura presentan condiciones ecológicas diferenciadas que impactan el desarrollo físico de los individuos. Estos hallazgos concuerdan con estudios previos que documentan cómo las variaciones en factores ambientales, como la temperatura y la productividad primaria pueden influir en la morfología de especies marinas (Heenan et al., 2020; Molina et al., 2020; Smale et al., 2020).

Por otro lado, las variables asociadas con la separación entre aletas dorsales y anales (PDSD, PDAA, SDAA) no mostraron diferencias significativas, lo que podría indicar que estas características son menos sensibles a las condiciones ambientales o están más estabilizadas a nivel poblacional. Esto podría estar relacionado con la evolución de estas características como adaptaciones funcionales a la locomoción y la hidrodinámica, las cuales presentan una mayor estabilidad morfológica en poblaciones migratorias o con alta presión selectiva en cuanto a su eficiencia de desplazamiento (Cooke et al., 2022; Fish, 2023). La existencia de diferencias

significativas en los caracteres morfométricos entre las zonas de captura sugiere que las condiciones oceanográficas y ecológicas pueden estar afectando la estructura fenotípica de la población. Este conocimiento es clave para diseñar estrategias de manejo sostenible que consideren la variabilidad morfológica de la especie y su relación con el ambiente marino.

La discriminación de las zonas de captura mediante el análisis de componentes principales (ACP) resalta dos grandes ejes de variabilidad morfológica: el primero, relacionado con el tamaño corporal general, y el segundo, vinculado con las características de las aletas lo cual da indicios de que el ambiente marino influye tanto en el crecimiento general de los individuos como en sus adaptaciones funcionales específicas para el nado. El hecho de que las variables morfológicas como HSD y HAA tengan una fuerte carga en el primer componente (CP1), mientras que las variables relacionadas con la aleta anal, como SDAA, sean predominantes en el segundo componente (CP2), podría indicar que las presiones selectivas del entorno marino, incluidas las características de los hábitats y las rutas migratorias, favorecen la variación en estas características (Cooke et al., 2022; Pinti et al., 2020).

El análisis de clústeres ha permitido identificar dos grupos distintivos de atunes entre las zonas de captura, con los individuos de FAO77 mostrando una mayor variabilidad morfológica. Este hallazgo es significativo desde una perspectiva ecológica, ya que sugiere que las diferencias en la estructura morfológica de la población pueden estar asociadas a factores específicos de las zonas de captura. La menor variabilidad observada en FAO87 podría reflejar un ambiente más homogéneo que favorezca una morfología más uniforme, mientras que en FAO77, las condiciones más diversas podrían estar promoviendo una mayor plasticidad fenotípica (Earhart et al., 2022). Los resultados del MANOVA también respaldan la hipótesis de que las variables ambientales influyen en la determinación de las características morfológicas. La significancia

estadística encontrada en todos los factores ambientales analizados marca la importancia de estos factores en la variabilidad morfológica del atún.

La implicación de estos resultados para el manejo y la conservación sostenible del atún de aleta amarilla es considerable. La mayor talla y robustez de los atunes en FAO77, asociadas a condiciones térmicas estables y menor variabilidad ambiental, sugieren que esta zona podría ser prioritaria para medidas de conservación que protejan individuos con mayor potencial reproductivo. En contraste, la mayor productividad primaria y dinámica oceanográfica de FAO87, vinculada a tallas menores pero alta disponibilidad de presas, indica que esta área requeriría regulaciones específicas para en cuanto a calidad ambiental durante pulsos de alta productividad. Estos resultados respaldan la implementación de cuotas pesqueras adaptativas, zonificación espacial temporal y monitoreo continuo de variables ambientales, integrando datos morfométricos como indicadores de salud poblacional. Además, la plasticidad fenotípica detectada refuerza la urgencia de considerar criterios ecosistémicos en la gestión pesquera, asegurando que las regulaciones no solo se basen en volúmenes de captura, sino también en la preservación de la diversidad funcional de la especie ante escenarios de cambio climático.

Futuras investigaciones deberían centrarse en integrar información genética y ecológica para determinar si las variaciones observadas son producto de la plasticidad fenotípica o si existen diferencias genéticas entre las poblaciones. Un enfoque integrador permitiría mejorar la comprensión de cómo las condiciones ambientales influyen en la variabilidad morfológica y la genética de las poblaciones de atún de aleta amarilla, lo que sería crucial para diseñar estrategias de manejo y conservación más efectivas. Además, sería beneficioso monitorear las condiciones ambientales a largo plazo para evaluar cómo los cambios en el clima y otros factores ambientales impactan en la biología de la especie y en la dinámica de las pesquerías.

Conclusiones

Del presente estudio se concluye que:

- Los resultados del análisis morfométrico revelaron diferencias entre los especímenes capturados en las zonas FAO77 y FAO87. Específicamente, los atunes de FAO77 presentan mayor talla total, altura de aletas dorsales y desarrollo de la longitud de la cabeza, lo que indica posibles adaptaciones funcionales a las condiciones oceanográficas locales, además se evidencia correlación entre variables estructurales y crecimiento corporal.
- Los factores ambientales evaluados mostraron una marcada heterogeneidad entre zonas, donde FAO77 se caracteriza por una mayor estabilidad térmica y menor variabilidad en clorofila-a y salinidad, mientras que FAO87 presenta condiciones más dinámicas. Estas diferencias oceanográficas parecen influir directamente sobre la estructura corporal de los atunes, es decir que, los gradientes ambientales regulan la expresión morfológica mediante mecanismos de ajuste funcional.
- El análisis multivariado confirmó que las variables ambientales explican una porción importante de la variabilidad morfológica observada, especialmente en componentes asociados al crecimiento general. La separación de grupos morfológicos entre zonas, evidenciada en el análisis de clúster, sugiere la existencia de poblaciones ecológicamente diferenciadas. Esto plantea la posibilidad de respuestas fenotípicas específicas a presiones ambientales distintas, incluso en ausencia de aislamiento genético.

Bibliografía

- Aoki, I., Yamakawa, T., & Takasuka, A. (2018). *Fish Population Dynamics, Monitoring, and Management: Sustainable Fisheries in the Eternal Ocean*. Springer.
- Aris, M., Akbar, N., & LABENUA, R. (2017). Genetic and phylogenetic variations of yellowfin tuna (*thunnus albacares*) as a basis for sustainable fishery resources management in north moluccas. *International Journal of pharma and Bio Sciences*, 8. <https://doi.org/10.22376/ijpbs.2017.8.4.b419-426>
- Artetxe-Arrate, I., Fraile, I., Marsac, F., Farley, J. H., Rodriguez-Ezpeleta, N., Davies, C. R., Clear, N. P., Grewe, P., & Murua, H. (2021). A review of the fisheries, life history and stock structure of tropical tuna (skipjack *Katsuwonus pelamis*, yellowfin *Thunnus albacares* and bigeye *Thunnus obesus*) in the Indian Ocean. En C. Sheppard (Ed.), *Advances in Marine Biology* (Vol. 88, pp. 39-89). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2020.09.002>
- Ashphaq, M., Srivastava, P. K., & Mitra, D. (2023). Preliminary examination of influence of Chlorophyll, Total Suspended Material, and Turbidity on Satellite Derived-Bathymetry estimation in coastal turbid water. *Regional Studies in Marine Science*, 62, 102920. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102920>
- Belarmino, E., Cabral, H., & Garcia, A. M. (2024). Long-term trends in the functional structure of estuarine fish assemblages in a subtropical estuary and its relationships with local environmental variability, man-made changes, and climatic drivers. *Marine Environmental Research*, 201, 106698. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106698>
- Binashikhubkr, K., Babangida Kachi, J., Al-Misned, F., & Naim, D. Md. (2024). Stock structure delineation of Kawakawa *Euthynnus affinis* (Cantor, 1849) from Malaysian Borneo using

- multivariate morphometric analysis. *Journal of King Saud University - Science*, 36(8), 103278. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103278>
- Castrejón, M., & Moreno, J. (2018). *Diagnóstico pesquero integral con un enfoque comunitario de la pesquería de atún aleta amarilla (Thunnus albacares) de la Reserva Marina de Galápagos*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16338.36808>
- Cooke, S. J., Bergman, J. N., Twardek, W. M., Piczak, M. L., Casselberry, G. A., Luterk, K., Dahlmo, L. S., Birnie-Gauvin, K., Griffin, L. P., Brownscombe, J. W., Raby, G. D., Standen, E. M., Horodysky, A. Z., Johnsen, S., Danylchuk, A. J., Furey, N. B., Gallagher, A. J., Lédée, E. J. I., Midwood, J. D., ... Lennox, R. J. (2022). The movement ecology of fishes. *Journal of Fish Biology*, 101(4), 756-779. <https://doi.org/10.1111/jfb.15153>
- Dabuleviciene, T., Vaiciute, D., & Kozlov, I. E. (2020). Chlorophyll-a Variability during Upwelling Events in the South-Eastern Baltic Sea and in the Curonian Lagoon from Satellite Observations. *Remote Sensing*, 12(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/rs12213661>
- Daqamseh, S. T., Al-Fugara, A., Pradhan, B., Al-Oraiqat, A., & Habib, M. (2019). MODIS Derived Sea Surface Salinity, Temperature, and Chlorophyll-a Data for Potential Fish Zone Mapping: West Red Sea Coastal Areas, Saudi Arabia. *Sensors*, 19(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/s19092069>
- Deida, T., Gammoudi, M., Ayari, T. E., Faleh, A. B., Djimera, L., Shahin, A. A. B., & Bouriga, N. (2024). Do eco-geospatial differences induce otolith morphological variations? Assessment in *Chelon auratus* (Mugiliformes, Mugilidae) populations collected from Tunisian and Mauritanian waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 104, e63. <https://doi.org/10.1017/S0025315424000547>

- Di Santo, V., & Goerig, E. (2025). Swimming smarter, not harder: Fishes exploit habitat heterogeneity to increase locomotor performance. *Journal of Experimental Biology*, 228(Suppl_1), JEB247918. <https://doi.org/10.1242/jeb.247918>
- Earhart, M. L., Blanchard, T. S., Harman, A. A., & Schulte, P. M. (2022). Hypoxia and High Temperature as Interacting Stressors: Will Plasticity Promote Resilience of Fishes in a Changing World? *The Biological Bulletin*, 243(2), 149-170. <https://doi.org/10.1086/722115>
- Fabiani, G., Chauka, L. J., & Muhando, C. A. (2022). Population Characteristics of Selected Small Pelagic Fish Species along the Tanzanian Coast. *Tanzania Journal of Science*, 48(3), Article 3. <https://doi.org/10.4314/tjs.v48i3.6>
- Famoofo, O. O., & Abdul, W. O. (2020). Biometry, condition factors and length-weight relationships of sixteen fish species in Iwopin fresh-water ecotype of Lekki Lagoon, Ogun State, Southwest Nigeria. *Heliyon*, 6(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02957>
- Fang, X., Zhang, Y., Yu, W., & Chen, X. (2023). Geographical Distribution Variations of Humboldt Squid Habitat in the Eastern Pacific Ocean. *Ecosystem Health and Sustainability*, 9, 0010. <https://doi.org/10.34133/ehs.0010>
- Fiallos, G. (2021). La Correlación de Pearson y el proceso de regresión por el Método de Mínimos Cuadrados. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), Article 3. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.466
- Fiedler, P. C., & Lavín, M. F. (2017). Oceanographic Conditions of the Eastern Tropical Pacific. En P. W. Glynn, D. P. Manzello, & I. C. Enochs (Eds.), *Coral Reefs of the Eastern Tropical Pacific: Persistence and Loss in a Dynamic Environment* (pp. 59-83). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7499-4_3

- Fish, F. E. (2023). Aquatic Locomotion: Environmental Constraints That Drive Convergent Evolution. En V. L. Bels & A. P. Russell (Eds.), *Convergent Evolution: Animal Form and Function* (pp. 477-522). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11441-0_15
- Frau, D., Battauz, Y., Alvarenga, P. F., Scarabotti, P. A., Mayora, G., & Sinistro, R. (2019). Assessing the relevance of top-down and bottom-up effects as phytoplankton structure drivers in a subtropical hypereutrophic shallow lake. *Aquatic Ecology*, 53(2), 265-280. <https://doi.org/10.1007/s10452-019-09687-3>
- Gagnat, M. R., Wold, P.-A., Bardal, T., Øie, G., & Kjørsvik, E. (2016). Allometric growth and development of organs in ballan wrasse (*Labrus bergylta* Ascanius, 1767) larvae in relation to different live prey diets and growth rates. *Biology Open*, 5(9), 1241-1251. <https://doi.org/10.1242/bio.017418>
- Gonzalez-Martinez, A., De-Pablos-Heredero, C., González, M., Rodriguez, J., Barba, C., & García, A. (2021). Morphological Variations of Wild Populations of *Brycon dentex* (Characidae, Teleostei) in the Guayas Hydrographic Basin (Ecuador). The Impact of Fishing Policies and Environmental Conditions. *Animals*, 11(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/ani11071901>
- Hasan, A., Siddiqui, P. J. A., Amir, S. A., & Durand, J.-D. (2021). DNA Barcoding of Mulletts (Family Mugilidae) from Pakistan Reveals Surprisingly High Number of Unknown Candidate Species. *Diversity*, 13(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/d13060232>
- Heenan, A., Williams, G. J., & Williams, I. D. (2020). Natural variation in coral reef trophic structure across environmental gradients. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 18(2), 69-75. <https://doi.org/10.1002/fee.2144>

- Hidayat, T., Boer, M., Kamal, M. M., Zairion, & Suman, A. (2023). Morfometric Character of Longtail Tuna (*Thunnus Tonggol*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1224(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1224/1/012013>
- Hill, D. (2017). *Shadowy futures – The effect of turbidity on yellow-eyed mullet (Aldrichetta forsteri)*.
- Hollins, J., Thambithurai, D., Koeck, B., Crespel, A., Bailey, D. M., Cooke, S. J., Lindström, J., Parsons, K. J., & Killen, S. S. (2018). A physiological perspective on fisheries-induced evolution. *Evolutionary Applications*, 11(5), 561-576. <https://doi.org/10.1111/eva.12597>
- Ikeda, T. (2016). Routine metabolic rates of pelagic marine fishes and cephalopods as a function of body mass, habitat temperature and habitat depth. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 480, 74-86. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2016.03.012>
- Jopia, C. T. (2010). *Informe Atún de Aleta Amarilla (Thunnus albacares Bonnaterre, 1788)*.
- Joseph, A., Esio, O., Asuquo, P., & Ene. (2019). *Length-weight relationship and condition factor of different sexes of Clarias gariepinus and Oreochromis niloticus from Calabar River, South-Eastern Nigeria*.
- Katlane, R., El Kilani, B., Dhaoui, O., Kateb, F., & Chehata, N. (2023). Monitoring of sea surface temperature, chlorophyll, and turbidity in Tunisian waters from 2005 to 2020 using MODIS imagery and the Google Earth Engine. *Regional Studies in Marine Science*, 66, 103143. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103143>
- Katlane, R., Nechad, B., Ruddick, K., & Zargouni, F. (2013). Optical remote sensing of turbidity and total suspended matter in the Gulf of Gabes. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(5), 1527-1535. <https://doi.org/10.1007/s12517-011-0438-9>

- Klein, K. P. (2022). *Remote Sensing of Suspended Sediment Dynamics in the Arctic Nearshore Zone* [Universität Potsdam]. <https://doi.org/10.25932/publishup-57603>
- Leeuwen, S. M. van, Salgado, H., Bailey, J. L., Beecham, J., Iriarte, J. L., García-García, L., & Thorpe, R. (2021). Climate change, marine resources and a small Chilean community: Making the connections. *Marine Ecology Progress Series*, 680, 223-246. <https://doi.org/10.3354/meps13934>
- Lerner, A., & Lane, G. (2004). *Guidelines for the Use of Fishes in Research*.
- Liu, H., Fu, Z., Yu, G., Ma, Z., & Zong, H. (2022). Effects of Acute High-Temperature Stress on Physical Responses of Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*). *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/jmse10121857>
- MacLeod, H. A., Shuter, B. J., Minns, C. K., & Rennie, M. D. (2022). Productivity of Fish Populations: Environmental and Ecological Drivers. En *Encyclopedia of Inland Waters* (pp. 207-224). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819166-8.00198-5>
- Marenkov, O., V., F., & B., E. (2016). *ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF YOUNG FISH OF ZAPOROZHIAN RESERVOIR*. 12, 8-14.
- Marr, J. C., & Schaefer, M. B. (1949). *Definitions of body dimensions used in describing tunas*. US Department of the Interior, Fish and Wildlife Service.
- Matthews, D. G., Zhu, R., Wang, J., Dong, H., Bart-Smith, H., & Lauder, G. (2022). Role of the caudal peduncle in a fish-inspired robotic model: How changing stiffness and angle of attack affects swimming performance. *Bioinspiration & Biomimetics*, 17(6), 066017. <https://doi.org/10.1088/1748-3190/ac9879>
- Mejuto-García, J. (2021). *Considerations on combined strategies for gathering information and sampling of multiple variables for statistical tasks and scientific studies regarding fisheries*

- targeting tuna and tuna-like species: Ethical reflections on scientific activity in the context of the t-RFMO*. <https://digital.csic.es/handle/10261/322588>
- Molina, A., Duque, G., & Cogua, P. (2020). Influences of environmental conditions in the fish assemblage structure of a tropical estuary. *Marine Biodiversity*, 50(1), 5. <https://doi.org/10.1007/s12526-019-01023-0>
- Nicol, S., Lehodey, P., Senina, I., Bromhead, D., Frommel, A. Y., Hampton, J., Havenhand, J., Margulies, D., Munday, P. L., Scholey, V., Williamson, J. E., & Smith, N. (2022). Ocean Futures for the World's Largest Yellowfin Tuna Population Under the Combined Effects of Ocean Warming and Acidification. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.816772>
- Pacheco, J. (2020). *Principales Especies de Atún Capturado por la Flota Atunera Cerquera Ecuatoriana durante 2020*.
- Pauly, D. (Daniel). (2024). *Gill size and temperature as governing factors in fish growth: A generalization of von Bertalanffy's growth formula (2nd edition)*. <https://doi.org/10.14288/1.0444113>
- Petrossian, G. A., Barthuly, B., & Sosnowski, M. C. (2022). Identifying Central Carriers and Detecting Key Communities Within the Global Fish Transshipment Networks. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.798893>
- Pico, E. X. (2022). *Historia de la industria pesquera y procesadora de atún en San Pablo de Manta-Ecuador*.
- Pinti, J., Celani, A., Thygesen, U. H., & Mariani, P. (2020). Optimal navigation and behavioural traits in oceanic migrations. *Theoretical Ecology*, 13(4), 583-593. <https://doi.org/10.1007/s12080-020-00469-4>

- Posit. (2025). *RStudio* (Versión Versión 2025_ 4.2.0) [Software]. <https://posit.co>
- R Core Team. (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing* [Software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Reglero, P., Santos, M., Balbín, R., Laíz-Carrión, R., Alvarez-Berastegui, D., Ciannelli, L., Jiménez, E., & Alemany, F. (2017). Environmental and biological characteristics of Atlantic bluefin tuna and albacore spawning habitats based on their egg distributions. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 140, 105-116. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.03.013>
- Reustle, J. W., & Smee, D. L. (2020). Turbidity and salinity influence trophic cascades on oyster reefs through modification of sensory performance and facilitation of different predator types. *Marine Ecology Progress Series*, 639, 127-136. <https://doi.org/10.3354/meps13283>
- Ruíz-Pérez, N. E., Cerdanars-Ladrón de Guevara, G., López-Herrera, D. L., Altamirano-Ramírez, I. R., Ruíz-Pérez, N. E., Cerdanars-Ladrón de Guevara, G., López-Herrera, D. L., & Altamirano-Ramírez, I. R. (2016). Relaciones tróficas entre cinco especies de peces pelágicos que cohabitan en las costas de Oaxaca, México. *Hidrobiológica*, 26(1), 77-85.
- Sage, R. F. (2020). Global change biology: A primer. *Global Change Biology*, 26(1), 3-30. <https://doi.org/10.1111/gcb.14893>
- Samad, Md. A., Mahfuj, Md. S.-E., Faysal Ahmed, F., Rahman, S.-U., & Hossain, Md. Y. (2023). Intraspecific morphological variations of the vulnerable loach, *Lepidocephalichthys annandalei* (Cypriniformes: Cobitidae) in inland waterbodies at southwestern Bangladesh. *Lakes & Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use*, 28(1), e12428. <https://doi.org/10.1111/lre.12428>

- Schaefer, K. M. (1989). Morphometric analysis of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, from the eastern Pacific ocean. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, 19(5), 387-427.
- Shi, W., & Wang, M. (2010). Characterization of global ocean turbidity from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer ocean color observations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(C11). <https://doi.org/10.1029/2010JC006160>
- Shiroza, A., Malca, E., Lamkin, J. T., Gerard, T., Landry, M. R., Stukel, M. R., Laiz-Carrión, R., & Swalethorp, R. (2022). Active prey selection in developing larvae of Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in spawning grounds of the Gulf of Mexico. *Journal of Plankton Research*, 44(5), 728-746. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbab020>
- Smale, D. A., Pessarrodona, A., King, N., Burrows, M. T., Yunnice, A., Vance, T., & Moore, P. (2020). Environmental factors influencing primary productivity of the forest-forming kelp *Laminaria hyperborea* in the northeast Atlantic. *Scientific Reports*, 10(1), 12161. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69238-x>
- Stransky, C., Berg, F., Cadrin, S., Gras, M., Hidalgo, M., Hüsey, K., Kerr, L., & Whitener, Z. (2020). *Stock Identification Methods Working Group (SIMWG)*. 2020. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.7485>
- Third, G. M., & Parsons, D. M. (2024). Population identification of snapper (*Chrysophrys auratus*) using body Geometric Morphometrics to inform sustainable fisheries management. *Fisheries Research*, 280, 107159. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2024.107159>
- Venâncio, C., Ribeiro, R., & Lopes, I. (2022). Seawater intrusion: An appraisal of taxa at most risk and safe salinity levels. *Biological Reviews*, 97(1), 361-382. <https://doi.org/10.1111/brv.12803>

- Wuenschel, M. J., McElroy, W. D., Oliveira, K., & McBride, R. S. (2019). Measuring fish condition: An evaluation of new and old metrics for three species with contrasting life histories. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 76(6), 886-903. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2018-0076>
- Yen, K.-W., & Lu, H.-J. (2016). Spatial–temporal variations in primary productivity and population dynamics of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* in the western and central Pacific Ocean. *Fisheries Science*, 82(4), 563-571. <https://doi.org/10.1007/s12562-016-0992-x>